



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 57 322 A1 2004.06.24

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 57 322.0  
(22) Anmeldetag: 06.12.2002  
(43) Offenlegungstag: 24.06.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: G01D 21/00  
G01D 3/028, G12B 7/00, G01F 1/84

(71) Anmelder:  
Endress + Hauser Flowtec AG, Reinach,  
Basel-Landschaft, CH  
  
(74) Vertreter:  
Andres, A., Pat.-Anw., 79576 Weil am Rhein

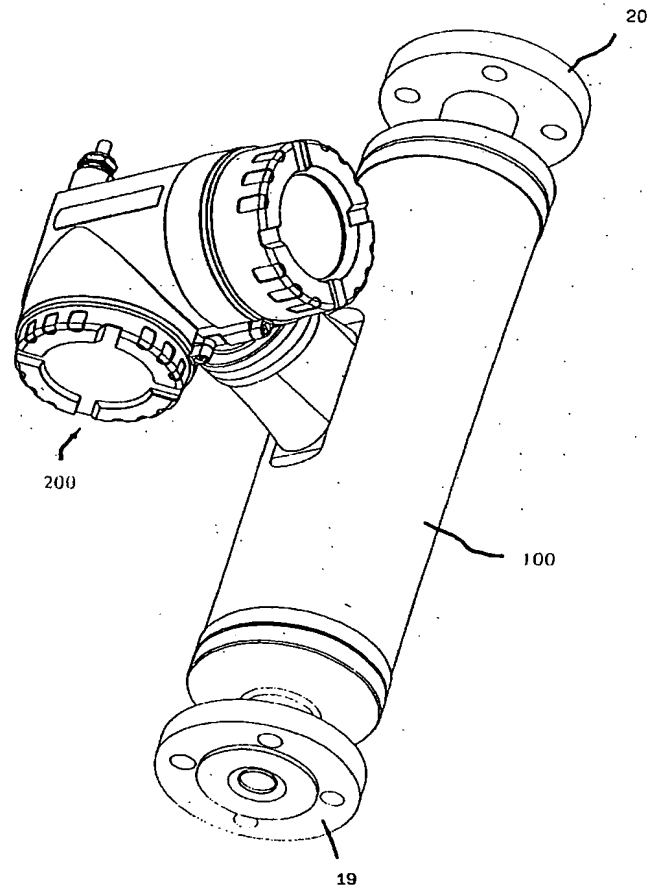
(72) Erfinder:  
Drahm, Wolfgang, Dr., 85356 Freising, DE; Rieder,  
Alfred, Dr., 84032 Landshut, DE  
  
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu  
ziehende Druckschriften:  
DE 195 37 880 A1  
DE 100 32 015 A1  
US 54 69 748 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Prozeß-Meßgerät**

(57) Zusammenfassung: Das Prozeß-Meßgerät dient zum Messen einer physikalischen Prozeßgröße eines in einem Prozeßbehälter vorgehaltenen oder in einer Prozeßleitung strömenden Mediums. Es umfaßt einen Meßaufnehmer (10) mit einer Meßsignale ( $s_1$ ,  $s_2$ ) liefernden Sensoranordnung (60) sowie eine mit dem Meßaufnehmer (10) gekoppelte Meßgerät-Elektronik (50). Die Sensoranordnung (60) weist ein primär auf die physikalische Prozeßgröße, insbesondere auch Änderungen der Prozeßgröße, reagierendes Sensorelement (17) auf und liefert mittels des Sensorelements (17) ein von der physikalischen Prozeßgröße beeinflusstes Meßsignal ( $s_1$ ). Darüber hinaus weist die Sensoranordnung (60) wenigstens einen im Meßaufnehmer (10) angeordneten Temperatursensor (40) auf, der eine Temperatur ( $T_1$ ) im Meßaufnehmer (10) örtlich erfaßt, und liefert die Sensoranordnung (60) mittels des Temperatursensors (40) ein die Temperatur ( $T_1$ ) im Meßaufnehmer (10) repräsentierendes Temperatur-Meßsignal ( $\Theta_1$ ). Unter Verwendung des Meßsignals ( $s_1$ ) und unter Verwendung eines Korrekturwerts ( $K_1$ ) für das Meßsignal ( $s_1$ ) erzeugt die Meßgerät-Elektronik (50) einen die physikalische Größe momentan repräsentierenden Meßwert ( $X$ ). Dabei ermittelt die Meßgerät-Elektronik (50) den Korrekturwert ( $K_1$ ) anhand eines zeitlichen Verlaufs des einen Temperatur-Meßsignals ( $\Theta_1$ ) in der Weise, daß in der Vergangenheit mittels des Temperatursensors (40) erfaßte Temperaturwerte mit berücksichtigt werden. Bei dem erfindungsgemäßen Prozeß-Meßgerät ...



22

**Beschreibung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Prozeß-Meßgerät zum Messen wenigstens einer physikalischen Prozeßgröße, insb. eines Massedurchflusses, einer Dichte, einer Viskosität, eines Drucks oder dergleichen, eines in einem Prozeßbehälter vorgehaltenen oder in einer Prozeßleitung strömenden Mediums.

[0002] In der industriellen Prozeß-Meßtechnik werden, insb. auch im Zusammenhang mit der Automatisierung chemischer oder verfahrenstechnischer Prozesse, zur Erzeugung von Prozeßgrößen analog oder digital repräsentierenden Meßwertsignalen vor Ort, also prozeßnah installierte Prozeß-Meßgeräte, sogenannte Feldmeßgeräte eingesetzt. Beispiele für derartige, dem Fachmann an und für sich bekannte Prozeß-Meßgeräte sind in der EP-A 984 248, EP-A 1 158 289, US-A 38 78 725, US-A 43 08 754, US-A 44 68 971, US-A 45 24 610, US-A 45 74 328, US-A 45 94 584, US-A 46 17 607, US-A 47 16 770, US-A 47 68 384, US-A 48 50 213, US-A 50 52 230, US-A 51 31 279, US-A 52 31 884, US-A 53 59 881, US-A 53 63 341, US-A 54 69 748, US-A 56 04 685, US-A 56 87 100, US-A 57 96 011, US-A 60 06 609, US-B 62 36 322, US-B 63 52 000, US-B 63 97 683, der WO-A 88 02 476, der WO-A 88 02 853, WO-A 95 16 897, WO-A 00 36 379, WO-A 00 14 485, WO-A 01 02816 oder der WO-A 02 086 426 detailliert beschrieben.

[0003] Bei den jeweils zu erfassenden Prozeßgrößen kann es sich beispielsweise um einen Massendurchfluß, eine Dichte, eine Viskosität, einen Füll- oder einen Grenzstand, einen Druck oder eine Temperatur oder dergleichen, eines flüssigen, pulver-, dampf- oder gasförmigen Prozeß-Mediums handeln, das in einem entsprechenden Prozeß-Behälter, wie z.B. einer Rohrleitung oder einem Tank, geführt bzw. vorgehalten wird.

[0004] Zum Erfassen der jeweiligen Prozeßgrößen weist das Prozeß-Meßgerät einen entsprechenden, zumeist physikalisch-elektrischen, Meßaufnehmer auf, der in eine Wandung des das Prozeß-Medium jeweils führenden Behälters oder der in den Verlauf einer das Prozeß-Medium jeweils führenden Prozeß-Leitung eingesetzt ist und der dazu dient, wenigstens ein die primär erfaßte Prozeßgröße möglichst genau repräsentierendes, insb. elektrisches, Meßsignal zu erzeugen. Dazu ist der Meßaufnehmer weiters mit einer entsprechenden, insb. auch einer Weiterverarbeitung oder Auswertung des wenigstens einen Meßsignals dienenden, Meßgerät-Elektronik verbunden.

[0005] Zudem sind Prozeß-Meßgeräte der beschriebenen Art üblicherweise über ein an die Meßgerät-Elektronik angeschlossenes Datenübertragungs-System miteinander und/oder mit entsprechenden Prozeß-Leitrechnern verbunden, wohin sie die Meßwertsignale z.B. via (4 mA bis 20 mA) -Stromschleife und/oder via digitalen Daten-Bus senden. Als Datenübertragungs-Systeme dienen hierbei, insb. serielle, Feldbus-Systeme, wie z.B. PROFISUS-PA, FOUNDATION FIELDBUS sowie die entsprechenden Übertragungs-Protokolle. Mittels der Prozeß-Leitrechner können die übertragenen Meßwertsignale weiterverarbeitet und als entsprechende Meßergebnisse z.B. auf Monitoren visualisiert und/oder in Steuersignale für Prozeß-Stellglieder, wie z.B. Magnet-Ventile, Elektro-Motoren etc., umgewandelt werden.

[0006] Zur Aufnahme der Meßgerät-Elektronik umfassen solche Prozeß-Meßgeräte ferner ein Elektronik-Gehäuse, das, wie z.B. in der US-A 63 97 683 oder der WO-A 00 36 379 vorgeschlagen, vom Feldmeßgerät entfernt angeordnet und mit diesem nur über eine flexible Leitung verbunden sein kann oder das, wie z.B. auch in der EP-A 903 651 oder der EP-A 1 008 836 gezeigt, direkt am Meßaufnehmer oder einem den Meßaufnehmer separat einhausenden Meßaufnehmer-Gehäuse angeordnet ist. Oftmals dient dann das Elektronik-Gehäuse, wie beispielsweise in der EP-A 984 248, der US-A 45 94 584, der US-A 47 16 770 oder der US-A 63 52 000 gezeigt, auch dazu, einige mechanische Komponenten des Meßaufnehmers mit aufzunehmen, wie z.B. sich unter mechanischer Einwirkung betriebsmäßig verformende membran-, stab-, hülsen- oder rohrförmige Deformation- oder Vibrationskörper, vgl. hierzu auch die eingangs erwähnte US-B 63 52 000.

[0007] Insbesondere in der EP-A 1 158 289, der US-A 47 68 384, der US-A 53 59 881, der US-A 56 87 100, der WO-A 88 02 476, WO-A 95 16 897 oder der WO-A 01 02816 sind jeweils Prozeß-Meßgeräte zum Messen wenigstens einer physikalischen Prozeßgröße, insb. eines Massedurchflusses, einer Dichte, einer Viskosität, eines Drucks oder dergleichen, eines in einer Prozeßleitung strömenden Mediums gezeigt, bei denen der vornehmliche Meßaufnehmer jeweils umfaßt:

- wenigstens ein Meßrohr zum Führen des, insb. strömen gelassenen, Mediums
- eine mit der Meßgerät-Elektronik elektrisch verbundene Erregeranordnung mit einem auf das Meßrohr mechanisch einwirkenden, insb. elektro-dynamischen oder elektro-magnetischen, Schwingungserreger zum Antreiben des Meßrohrs, sowie
- eine Meßsignale liefernden Sensoranordnung, die wenigstens ein primär auf die physikalische Prozeßgröße, insb. auch Änderungen der Prozeßgröße, reagierendes erstes und ein zweites Sensorelement aufweist und mittels der Sensorelemente wenigstens ein von der physikalischen Prozeßgröße beeinflusstes erstes und zweites Meßsignal liefert,
- wobei die Meßgerät-Elektronik, wenigstens ein dem Steuern des Schwingungserregers dienendes Erregersignal liefert, so daß das Meßrohr im Betrieb zumindest zeitweise vibrieren gelassen wird,
- wobei die beiden Sensorelemente auf einlaßseitige bzw. auslaßseitige Vibrationen des Meßrohrs reagieren und

- wobei die von Sensorelementen gelieferten Meßsignale vom Prozeß-Medium beeinflusste mechanische Schwingungen des vibrierenden Meßrohrs repräsentieren.

[0008] Darüber hinaus umfaßt solch ein Prozeß-Meßgerät vom Vibrations- Typ ferner ein das Meßrohr mit den daran angeordneten Schwingungserregern und Sensoren sowie allfällige weitere Komponenten des Meßaufnehmers einhausendes Meßaufnehmer-Gehäuse.

[0009] Für den Fall, daß ein Prozeß-Meßgerät vom Vibrations-Typ als Coriolis-Massendurchflußmesser eingesetzt wird, ermittelt die Meßgerät-Elektronik u.a. auch eine Phasendifferenz zwischen den beiden, von den Sensorelementen gelieferten Meßsignalen, hier Schwingungssignale, und gibt die Meßgerät-Elektronik an ihrem Ausgang ein Meßwertsignal ab, das, mit dem zeitlichen Verlauf der Phasendifferenz korrespondierend, einen Meßwert des Massendurchflusses darstellt.

[0010] Bekanntlich können auf Prozeß-Meßgeräte der beschriebenen Art, insb. auf deren jeweiligen Meßaufnehmer, neben den oben beschriebenen, primär zu erfassenden Prozeßgrößen, auch andere, insb. auch nicht beeinflussbare, physikalische Größen, insb. eine Prozeß- oder Mediums-Temperatur, einwirken.

[0011] Insbesondere bei mit vibrierenden Meßrohren arbeitenden Prozeß-Meßgeräten, z.B. Coriolis-Massendurchfluß-Meßgeräten, Dichte-Meßgeräten und/oder Viskositäts-Meßgeräten, kann eine thermisch bedingt veränderliche Ausdehnung des Meßrohrs auch dazu führen, daß der Meßaufnehmer neben einer Empfindlichkeit auf die primären Meßgrößen, wie z.B. einen Massedurchfluß, eine Dichte und/oder eine Viskosität, auch eine Querempfindlichkeit gegenüber einer im Meßaufnehmer momentan herrschenden Temperaturverteilung aufweist. Infolge solcher temperaturbedingter Störeinflüssen auf das Schwingungsverhalten des Meßaufnehmers wird dieser praktisch verstimmt. Demzufolge kann auch das von der Meßgerät-Elektronik gelieferte Meßwertsignal bei Nichtberücksichtigung dieser "Verstimmung" fehlerhaft sein.

[0012] Zur Kompensation von temperaturbedingten Störeinflüssen auf die vom Meßaufnehmer gelieferten Meßsignale und/oder auf mittels der Meßgerät-Elektronik daraus abgeleiteten Meßwertsignale ist bei Coriolis-Massendurchfluß-Meßgeräten oder Coriolis-Massendurchfluß-/Dichte-Meßgeräten daher üblicherweise auch mindestens ein Temperatursensor z.B. für die Messung der Temperatur des Meßrohrs oder einer Meßrohrumgebung in der Sensoranordnung vorgesehen, vgl. hierzu auch die US-A 53 59 881, die US-A 56 87 100 oder die WO-A 88 02 476.

[0013] Bei den hier gezeigten Prozeß-Meßgeräten werden zur Kompensation von Temperatureinflüssen auf die Elastizitätsmoduln der jeweiligen Meßrohre mittels jeweils einem, an einem gebogenen Meßrohr angebrachten Temperatursensor, z.B. einem Pt100, einem Pt1000 oder einem Thermo-Element, zunächst ein mit der Temperatur des Meßmediums korrespondierendes, elektrisches Temperatur-Meßsignal erzeugt. Dieses wird dann in der Meßgerät-Elektronik durch Multiplikation mit konstanten, zeitinvarianten Koeffizienten in einen die Einflüsse der gemessenen Temperatur auf das Elastizitätsmodul berücksichtigenden Korrekturfaktor umgerechnet und so in die Korrektur des Meßwertsignals, z.B. eines Massedurchfluß- und/oder eines Dichtesignals einfließen gelassen. Zur Glättung des Temperatur-Meßsignals oder zur Verbesserung von dessen Signal-zu-Rausch-Verhältnis können, wie z.B. in der WO-A 88 02 476 vorgeschlagen, entsprechende digitale Signalfilter zum Einsatz kommen.

[0014] Neben solchen Prozeß-Meßgeräten vom Vibrations-Typ mit gebogenem Meßrohr sind dem Fachmann ferner auch Prozeß-Meßgeräte vom Vibrations-Typ mit einem einzigen geraden Meßrohr oder auch mit zwei Meßrohren bekannt, vgl. hierzu insb. die US-A 45 24 610, die US-A 47 68 384, die US-A 60 06 609, die WO-A 00 144 485 oder die WO-A 01 02816. Sei solchen Prozeß-Meßgeräten mit einem einzigen geraden Meßrohr ist üblicherweise im Meßaufnehmer ferner ein, insb. schwingfähig im Meßaufnehmer-Gehäuse aufgehängtes, am Meßrohr fixiertes Trägerelement zum Haltern des Schwingungserregers und der Sensorelemente vorgesehen, daß zudem auch dazu dient, das vibrierende Meßrohr von der angeschlossenen Rohrleitung schwingungstechnisch zu entkoppeln. Das Trägerelement kann dabei z.B. als ein coaxial zum Meßrohr angeordneter rohrförmiger Kompensationzylinder oder kastenförmiger Tragrahmen ausgeführt sein.

[0015] Aufgrund ihrer speziellen Konstruktion reagieren Prozeß-Meßgeräte vom Vibrations-Typ mit geradem Meßrohr oder geraden Meßrohren auf Temperaturveränderung nicht nur mit der bereits erwähnten E-Modul-Änderung, sondern bewirken auch temperaturbedingte Änderungen mechanischer Spannungen innerhalb des Meßrohrs und ggf. auch innerhalb des Trägerelements und/oder des Meßaufnehmer-Gehäuses Änderungen in der Empfindlichkeit des Meßaufnehmers auf die primären Prozeßgrößen.

[0016] Solche temperaturbedingten mechanischen, insb. axial zum Meßrohr wirkenden, Spannungen können verschiedene Ursachen haben, die allein oder in Verbindung miteinander auftreten können. Selbst wenn Meßrohr und Trägerelement oder Meßaufnehmer-Gehäuse im wesentlichen gleiche Temperaturen aufweisen, können temperaturabhängige mechanische Spannungen auftreten, wenn Trägerrohr und Schwingssystem aus unterschiedlichen Materialien mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten bestehen. Noch stärker wirken sich derartige Temperatureinflüsse auf das Meßergebnis aus, wenn die Temperatur der Meßrohres von der Temperatur des Trägerrohrs verschieden ist. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Prozeß-Medium gemessen werden soll, dessen Temperatur von der Umgebungstemperatur verschieden ist. Sei sehr heißen

oder sehr kalten Prozeß-Medien kann ein sehr großes Temperaturgefälle zwischen dem Trägerelement bzw. dem Meßaufnehmer-Gehäuse und den Meßrohren bestehen.

[0017] Zur Kompensation auch solcher, die Empfindlichkeit des Meßaufnehmers gegenüber den primären Prozeßgrößen verändernden Temperatureinflüsse sind beispielsweise in der US-A 47 68 384, der US-A 52 31 884 oder der WO-A 01 02816 Maßnahmen beschrieben. Dabei wird unter Verwendung wenigstens eines weiteren, am Meßaufnehmer-Gehäuse angebrachten Temperatursensors, der Einfluß auch von temperaturabhängigen Ausdehnungen oder Spannungen des Meßaufnehmer-Gehäuses auf das Meßwertsignal dadurch kompensiert, daß ein weiterer, die Einflüsse der gemessenen Temperatur auf die Ausdehnungen oder die Spannungsverteilung im Meßaufnehmer berücksichtigenden Korrekturfaktors in der Meßgerät-Elektronik gebildet und in das Meßwertsignal mit einfließen gelassen wird. Zur Bildung dieses Korrekturfaktors wird jedes der Temperatur-Signale gleichzeitig und unverzögert mit wiederum konstanten Koeffizienten und ggf. auch mit sich selbst multipliziert.

[0018] Es hat sich hierbei aber gezeigt, daß die Temperaturverteilung im Betrieb von Prozeß-Meßgeräten der beschriebenen Art zum einen, insb. aufgrund einer zumeist nicht konstant zu haltenden Temperatur des Fluids, erheblichen Schwankungen unterliegen kann und somit innerhalb des Prozeß-Meßgeräts, insb. auch innerhalb des Meßaufnehmers, wiederholt dynamische Ausgleichsvorgänge bezüglich der Temperaturverteilung zu verzeichnen sind. Zum anderen können diese zeitlichen Änderungen in der Temperaturverteilung, bedingt durch verschiedene spezifische Temperaturleitfähigkeiten oder Wärmekapazitäten einzelner Komponenten des Meßaufnehmers, z.B. des Meßrohrs oder des Meßaufnehmer-Gehäuses, unterschiedlich raschen auf die einzelnen, die Empfindlichkeit des Meßaufnehmers mitbestimmenden Komponenten des Meßaufnehmers durchgreifen, so daß auch die mittels zweier oder mehrerer Temperatursensoren erfaßten Temperaturprofile oder –gradienten dynamischen Veränderungen unterliegen können.

[0019] Dies wiederum kann aber bei Prozeß-Meßgeräten, bei denen, wie z.B. in der US-A 47 68 384 oder der WO-A 01 02816 gezeigt, für die Ermittlung von entsprechenden Korrekturfaktoren für das Meßsignal lediglich momentane Temperaturwerte berücksichtigende, statische Algorithmen angewendet werden, dazu führen, daß trotz der Verwendung solcher, zwar von verschiedenen, örtlich verteilt erfaßten Temperaturen abgeleiteten, jedoch zueinander stets gleichbleibend gewichteten Korrekturfaktoren erhebliche Ungenauigkeiten im Meßwertsignal während des des instationären Zustands der Temperaturverteilung auftreten können, und zwar über einen vergleichsweise langen Zeitraum. Untersuchungen haben nämlich ferner ergeben, daß solche, insb. Änderungen in den mechanischen Spannungen innerhalb des Meßaufnehmers bewirkenden, instationären Übergangsbereiche der Temperaturverteilung von wenigen Minuten bis hin zu einigen Stunden andauern können und daß sich während dieser oftmals recht langen Zeit des instationären Zustands der Temperaturverteilung die Einflüsse der örtlich erfaßten Temperaturen auf das Meßsignal bzw. die Meßsignale im Verhältnis zueinander ebenfalls verändern können.

[0020] Eine Möglichkeit zur Reduzierung derartiger Fehler im Meßsignal kann bei solchen Meßaufnehmern mit vibrierendem Meßrohr z.B. darin bestehen, eine Vielzahl von Temperatur-Sensoren entlang des Meßrohrs und entlang des Meßaufnehmer-Gehäuses und/oder entlang des ggf. vorhandenen Trägerelements für das einzige Meßrohr verteilt zu installieren.

[0021] Der Nachteil einer solchen Lösung ist u.a. darin zu sehen, daß mit der Zahl der verwendeten Temperatur-Sensoren auch die Herstellkosten entsprechend deutlich ansteigen. Abgesehen von den Kosten für die Temperatursensoren selbst steigen nämlich auch die Kosten für deren Montage und Verdrahtung.

[0022] Darüber hinaus kann eine Erhöhung der Anzahl an Temperatursensoren aber auch zu einer erhöhten Ausfallwahrscheinlichkeit der Sensoranordnung selbst führen, insb. auch dann, wenn die Temperatur-Sensoren an betriebsgemäß hochfrequent vibrierenden Komponenten, z.B. dem Meßrohr oder als Gegenschwinger ausgeführten Trägerelement, fixiert sind.

[0023] Eine Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, Prozeß-Meßgeräte der eingangs angegebenen Art dahingehend zu verbessern, das auch im instationären Übergangsbereich der Temperaturverteilung innerhalb von dem jeweiligen Meßaufnehmer temperaturbedingte Fehler im Meßsignal weitgehend kompensiert sind und das für die Ermittlung eines möglichst genauen Korrekturfaktors für Temperatureinflüsse auf das Meßsignal möglichst wenig Temperatursensoren benötigt.

[0024] Zur Lösung der Aufgabe besteht die Erfindung in einem Prozeß-Meßgerät zum Messen wenigstens einer physikalischen Prozeßgröße, insb. eines Massedurchflusses, einer Dichte, einer Viskosität, eines Drucks oder dergleichen, eines in einem Prozeßbehälter vorgehaltenen oder in einer Prozeßleitung strömenden Mediums, welches Meßgerät umfaßt:

- einen Meßaufnehmer
- mit einer Meßsignale liefernden Sensoranordnung,
- die wenigstens ein primär auf die physikalische Prozeßgröße, insb. auch Änderungen der Prozeßgröße, reagierendes erstes Sensorelement aufweist und mittels des ersten Sensorelements wenigstens ein von der physikalischen Prozeßgröße beeinflusstes erstes Meßsignal liefert, und
- die darüber hinaus wenigstens einen ersten im Meßaufnehmer angeordneten Temperatursensor aufweist,

der eine erste Temperatur im Meßaufnehmer örtlich erfaßt, und

- die mittels des wenigstens einen Temperatursensors wenigstens ein die erste Temperatur im Meßaufnehmer repräsentierendes erstes Temperatur-Meßsignal liefert, sowie
- eine Meßgerät-Elektronik, die unter Verwendung wenigstens des ersten Meßsignals und unter Verwendung eines ersten Korrekturwerts für das wenigstens erste Meßsignal wenigstens einen die physikalische Größe momentan repräsentierenden Meßwert, insb. einen Massendurchfluß-Meßwert, einen Dichte-Meßwert, einen Viskositäts-Meßwert oder einen Druck-Meßwert, erzeugt,
- wobei die Meßgerät-Elektronik im Betrieb den ersten Korrekturwert anhand eines zeitlichen Verlaufs des wenigstens ersten Temperatur-Meßsignals dadurch ermittelt, daß in der Vergangenheit mittels des ersten Temperatursensors erfaßte Temperaturwerte mit berücksichtigt werden.

[0025] Nach einer bevorzugten ersten Ausgestaltung der Erfindung reagiert die Meßgerät-Elektronik im Betrieb auf eine mit einer Änderung der ersten Temperatur korrespondierenden Änderung des ersten Temperatur-Meßsignals zeitverzögert mit einer Änderung des ersten Korrekturwerts.

[0026] Nach einer bevorzugten zweiten Ausgestaltung der Erfindung weist die Sensoranordnung wenigstens einen im Meßaufnehmer, insb. vom ersten Temperatursensor beabstandet, angeordneten zweiten Temperatursensor auf, der eine zweite Temperatur im Meßaufnehmer örtlich erfaßt, und

- bei dem die Sensoranordnung mittels des zweiten Temperatursensors wenigstens ein die zweite Temperatur repräsentierendes zweites Temperatur-Meßsignal liefert.

[0027] Nach einer bevorzugten dritten Ausgestaltung der Erfindung ermittelt die Meßgerät-Elektronik den ersten Korrekturwert auch unter Verwendung des zweiten Temperatur-Meßsignals.

[0028] Nach einer bevorzugten vierten Ausgestaltung der Erfindung ermittelt die Meßgerät-Elektronik anhand eines zeitlichen Verlaufs wenigstens des zweiten Temperatur-Meßsignals einen zweiten Korrekturwert und erzeugt die Meßgerät-Elektronik den Meßwert auch unter Verwendung des zweiten Korrekturwerts.

[0029] Nach einer bevorzugten fünften Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Meßgerät-Elektronik eine Filterstufe zum Erzeugen des wenigstens ersten Korrekturwerts, wobei das erste Temperatur-Meßsignal einem ersten Signaleingang der Filterstufe zugeführt ist.

[0030] Nach einer bevorzugten sechsten Ausgestaltung der Erfindung weist die Filterstufe einen ersten A/D-Wandler für das erste Temperatur-Meßsignal auf, der dieses in ein erstes Digitalsignal wandelt.

[0031] Nach einer bevorzugten siebenten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Filterstufe ein erstes digitales Filter für das erste Digitalsignal.

[0032] Nach einer bevorzugten achten Ausgestaltung der Erfindung ist das erste digitale Filter ein rekursives Filter.

[0033] Nach einer bevorzugten neunten Ausgestaltung der Erfindung ist das erste digitale Filter ein nicht-rekursives Filter.

[0034] Nach einer bevorzugten zehnten Ausgestaltung der Erfindung liefert das erste digitale Filter den ersten Korrekturwert an einen ersten Signalausgang der Filterstufe.

[0035] Nach einer bevorzugten elften Ausgestaltung der Erfindung dient die Filterstufe auch dem Erzeugen des zweiten Korrekturwerts, wobei das zweite Temperatur-Meßsignal einem zweiten Signaleingang der Filterstufe zugeführt ist, und weist die Filterstufe einen zweiten A/D-Wandler für das zweite Temperatur-Meßsignal auf, der dieses in ein zweites Digitalsignal wandelt.

[0036] Nach einer bevorzugten zwölften Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Filterstufe ein zweites digitales Filter für das zweite Digitalsignal.

[0037] Nach einer bevorzugten dreizehnten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt der Meßaufnehmer wenigstens ein Meßrohr zum Führen des, insb. strömenden, Mediums.

[0038] Nach einer bevorzugten vierzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist wenigstens einer der beiden Temperatursensoren auf dem Meßrohr oder in dessen Nähe angeordnet.

[0039] Nach einer bevorzugten fünfzehnten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt der Meßaufnehmer ein das Meßrohr zumindest teilweise umhüllendes Meßaufnehmer-Gehäuse.

[0040] Nach einer bevorzugten sechzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist wenigstens einer der beiden Temperatursensoren am Meßaufnehmer-Gehäuse fixiert oder zumindest in dessen Nähe angeordnet.

[0041] Nach einer bevorzugten siebzehnten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt der Meßaufnehmer ferner einen mit der Meßgerät-Elektronik elektrisch verbundenen, auf das Meßrohr mechanisch einwirkenden, insb. elektro-dynamischen oder elektromagnetischen, Schwingungserreger zum Antreiben des Meßrohrs, und liefert die Meßgerät-Elektronik, wenigstens ein dem Steuern des Schwingungserregers dienendes Erregersignal, so daß das Meßrohr im Betrieb zumindest zeitweise vibriert.

[0042] Nach einer bevorzugten achtzehnten Ausgestaltung der Erfindung reagiert das erste Sensorelement auf, insb. einlaßseitige oder auslaßseitige, Vibrationen des Meßrohrs und repräsentiert das vom ersten Sensorelement gelieferte Meßsignal vom PozeßMedium beeinflusste mechanische Schwingungen des vibrieren-

den Meßrohrs.

[0043] Nach einer bevorzugten neunzehnten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt der Meßaufnehmer ein, insb. schwingfähig im Meßaufnehmer-Gehäuse aufgehängtes, am Meßrohr fixiertes Trägerelement zum Halten des Schwingungserregers und wenigstens des ersten Sensorelements.

[0044] Nach einer bevorzugten zwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung ist wenigstens ein Temperatursensor auf dem Trägerelement fixiert oder zumindest in dessen Nähe angeordnet.

[0045] Nach einer bevorzugten einundzwanzigsten Ausgestaltung der Erfindung weist die Sensoranordnung wenigstens ein zweites primär auf die physikalische Prozeßgröße reagierendes Sensorelement auf und liefert die Sensoranordnung mittels des zweiten Sensorelements wenigstens ein von der physikalischen Prozeßgröße beeinflusstes zweites Meßsignal, wobei die Meßgerät-Elektronik den Meßwert auch unter Verwendung des zweiten Meßsignals erzeugt.

[0046] Ein Grundgedanke der Erfindung besteht zum einen darin, die momentane Empfindlichkeit des Meßaufnehmers auf die zu messende Prozeßgröße in Abhängigkeit von seiner momentanen inneren Temperaturverteilung zu ermitteln und die davon beeinflussten Meßsignale entsprechend zu kompensieren. Zum anderen geht es bei der Erfindung darum, anhand von in der Vergangenheit gemessener Temperaturen die für die Empfindlichkeit momentane wirksame Temperaturverteilung im Meßaufnehmer, insb. auch unter Verwendung möglichst weniger Temperatursensoren, ausreichend genau abzuschätzen.

[0047] Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht neben des geringen schaltungstechnischen Aufwands für die Temperaturmessung auch darin, daß für die Positionierung der Temperatursensoren innerhalb des Meßaufnehmers mehr Freiheitsgrade geschaffen werden, da nunmehr die jeweilige Lage des Temperatursensors bei der Auswertung des jeweils gelieferten Temperatursignals mit in die Korrektur einfließen gelassen werden kann. Somit können die Temperatursensoren insb. auch aus montage- und/oder verdrahtungs-technischer Sicht optimal angeordnet werden.

[0048] Dies hat beispielsweise bei den eingangs erwähnten Prozeß-Meßgeräten vom Vibrations-Typ auch den Vorteil, daß die Temperatursensoren zum Zwecke der Abschätzung der wirksamen Temperaturverteilung des Meßrohrs und/oder des ggf. vorhandenen Trägerelements ohne weiteres auch an nicht-vibrierenden Komponenten des Meßaufnehmers, wie z.B. dem Wandler-Gehäuse, fixiert werden können.

[0049] Fig. 1 zeigt perspektivisch in einer Seitenansicht ein Prozeß-Meßgerät,

[0050] Fig. 2 zeigt nach Art eines Blockschaltbildes eine für das Prozeß-Meßgerät gemäß Fig. 1 geeignete Meßgerät-Elektronik gekoppelt mit einem Meßaufnehmer vom Vibrations-Typ,

[0051] Fig. 3 zeigt teilweise geschnitten ein Ausführungsbeispiel eines für das Prozeß-Meßgerät von Fig. 1 geeigneten Meßaufnehmers vom Vibrations-Typ perspektivisch in einer ersten Seitenansicht,

[0052] Fig. 4 zeigt den Meßaufnehmer von Fig. 2 perspektivisch in einer zweiten Seitenansicht,

[0053] Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer elektromechanischen Erregeranordnung für den Meßaufnehmer von Fig. 2,

[0054] Fig. 6 zeigt nach Art eines Blockschaltbildes eine für die Meßgerät-Elektronik von Fig. 2 geeignete Auswerteschaltung,

[0055] Fig. 7 zeigt schematisiert ein Beispiel für mögliche Temperaturverläufe innerhalb des Meßaufnehmers von Fig. 2 und

[0056] Fig. 8 zeigt nach Art eines Blockschaltbildes eine Ausgestaltung der Auswerteschaltung von Fig. 6.

[0057] In den Fig. 1 und 2 ist ein Ausführungsbeispiel für ein Prozeß-Meßgerät, beispielsweise ein Coriolis-Massedurchflußmeßgerät, ein Dichte-Meßgerät und/oder eine Prozeß-Meßgerät 1 mit einem, bevorzugt innerhalb eines Meßaufnehmer-Gehäuses 100 untergebrachten, Meßaufnehmer 10 vom Vibrations-Typ sowie mit einer in einem Elektronik-Gehäuse 200 dargestellt, in dem eine mit dem Meßaufnehmer 10 elektrisch verbundene Meßgerät-Elektronik 50 untergebracht ist.

[0058] Das Prozeß-Meßgerät 1 dient dazu, eine Prozeßgröße, z.B. einen Massedurchfluß, eine Dichte und/oder eine Viskosität, eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids zu erfassen und in einen diese Prozeßgröße momentan repräsentierenden Meßwertsignal abzubilden; die Rohrleitung ist aus Übersichtlichkeitsgründen hier nicht dargestellt.

[0059] Zum Führen des Fluids umfaßt der Meßaufnehmer 10 ein Meßrohr 13, das im Betrieb vorzugsweise in einem Siegeschwingungsmodus so vibrieren gelassen wird, daß im hindurchströmenden Fluid solche Reaktionskräfte, wie z.B. Coriolis-Kräfte, Beschleunigungskräfte und/oder Reibungskräfte, von ausreichender Höhe erzeugt werden, die von der Prozeßgröße abhängig sind und die auf den Meßaufnehmer 10 in messbarer, also sensorisch erfassbar und elektronisch auswertbarer Weise zurückwirken.

[0060] In den Fig. 3 und 4 ist ein Ausführungsbeispiel einer als Meßaufnehmer 10 dienenden physikalisch-elektrischen Wandleranordnung vom Vibrations-Typ gezeigt. Der Aufbau einer derartigen Wandleranordnung ist z.B. in der US-A 60 06 609 ausführlich beschrieben.

[0061] Zum Führen des zu messenden Fluids umfaßt der Meßaufnehmer 10 wenigstens ein einlaßendes 11 und ein auslaßendes 12 aufweisendes Meßrohr 13 von vorgebbarem, im Betrieb elastisch verformbarem Meßrohrlumen 13A und von vorgebbarer Nennweite.

[0062] Elastisches Verformen des Meßrohrlumens **13A** bedeutet hier, daß zum Erzeugen der oben bereits erwähnten, fluidinternen und somit das Fluid beschreibenden Reaktionskräften eine Raumform und/oder eine Flaumlage des Meßrohrlumens **13A** innerhalb eines Elastizitätsbereiches des Meßrohrs **13** in vorgebbarer Weise zyklisch, insb. periodisch, verändert wird, vgl. z.B. die US-A 48 01 897, die US-A 56 48 616, die US-A 57 96 011 oder die US-A 60 06 609. Falls erforderlich, kann das Meßrohr, wie z.B. in der EP-A 1 260 798 gezeigt, beispielsweise auch gebogen sein. Darüber hinaus ist z.B. auch möglich, anstelle eines einzigen Meßrohrs, zwei gebogene oder gerade Meßrohre zu verwenden. Weitere geeignete Ausführungsformen für solche als Meßaufnehmer **10** dienende Wandleranordnungen sind z.B. in der US-A 53 01 557, der US-A 53 57 811, der US-A 55 57 973, der US-A 56 02 345, der US-A 56 48 616 oder der US-A 57 96 011 ausführlich beschrieben.

[0063] Als Material für das in den **Fig. 3** und **4** gerade Meßrohr **13** sind z.B. Titanlegierungen besonders geeignet. Anstelle von Titanlegierungen können aber auch andere für derartige, insb. auch für gebogene, Meßrohre üblicherweise verwendete Materialien wie z.B. rostfreier Stahl, Tantal oder Zirkonium etc. verwendet werden.

[0064] Das Meßrohr **13**, das in der üblichen Weise einlaß-seitig und auslaß-seitig mit der das Fluid zu- bzw. abführenden Rohrleitung kommuniziert, ist in einen starren, insb. biege- und verwindungssteifen, und vom Meßaufnehmer-Gehäuse **100** umhüllten, Tragrahmen **14** schwingfähig eingespannt.

[0065] Der Tragrahmen **14** ist am Meßrohr **13** einlaß-seitig mittels einer Einlaßplatte **213** und ausslass-seitig mittels einer Auslaßplatte **223** fixiert, wobei letztere beide jeweils von entsprechenden Verlängerungsstücken **131**, **132** des Maßrohrs **13** durchstoßen sind. Ferner weist der Tragrahmen **14** eine erste Seitenplatte **24** und eine zweite Seitenplatte **34** auf, welche beiden Seitenplatten **24**, **34** jeweils derart an der Einlaßplatte **213** und an der Auslaßplatte **223** fixiert sind, daß sie praktisch parallel zum Meßrohr **13** verlaufen und von diesem sowie voneinander beabstandet angeordnet sind, vgl. **Fig. 3**. Somit sind einander zugewandte Seitenflächen der beiden Seitenplatten **24**, **34** ebenfalls parallel zueinander.

[0066] Ein Längsstab **25** ist an den Seitenplatten **24**, **34**, vom Meßrohr **13** beabstandet, fixiert, der als Schwingungen des Maßrohrs **13** tilgende Auswuchtmasse dient. Der Längsstab **25** erstreckt sich, wie in **Fig. 4** dargestellt ist, praktisch parallel zur gesamten schwingfähigen Länge des Meßrohrs **13**; dies ist jedoch nicht zwingend, der Längsstab **25** kann selbstverständlich, falls erforderlich, auch kürzer ausgeführt sein.

[0067] Der Tragrahmen **14** mit den beiden Seitenplatten **24**, **34**, der Einlaßplatte **213**, der Auslaßplatte **223** und dem Längsstab **25** hat somit eine Längsschwerelinie, die praktisch parallel zu einer das Einlaßende **11** und das Auslaßende **12** virtuell verbindenden Meßrohr-Mittelachse **13B** verläuft.

[0068] In den **Fig. 3** und **4** ist durch die Köpfe der gezeichneten Schrauben angedeutet, daß das erwähnte Fixieren der Seitenplatten **24**, **34** an der Einlaßplatte **213**, an der Auslaßplatte **223** und am Längsstab **25** durch Verschrauben erfolgen kann; es können aber auch andere geeignete und dem Fachmann geläufige Befestigungsarten angewendet werden.

[0069] Für den Fall, daß der Meßaufnehmer **10** lösbar mit der Rohrleitung zu montieren ist, ist dem Meßrohr **13** einlaß-seitig ein erster Flansch **19** und auslaß-seitig ein zweiter Flansch **20** angeformt, vgl. **Fig. 1**; anstelle der Flansche **19**, **20** können aber z.B. auch andere Rohrleitungs-Verbindungsstücke zur lösbaren Verbindung mit der Rohrleitung angeformt sein, wie z.B. die in **Fig. 3** angedeuteten sogenannten Triclamp-Anschlüsse. Falls erforderlich kann das Meßrohr **13** aber auch direkt mit der Rohrleitung, z.B. mittels Schweißen oder Hartlötung etc. verbunden werden bzw. sein.

[0070] Zum Erzeugen der erwähnten Reaktionskräfte wird das Meßrohr **13** im Betrieb des Meßaufnehmers **10**, angetrieben von einer mit dem Meßrohr gekoppelten elektromechanischen Erregeranordnung **16**, bei einer vorgebbaren Schwingfrequenz, insb. einer natürlichen Resonanzfrequenz, im sogenannten Nutzmode vibrieren gelassen und somit in vorgebbarer Weise elastisch verformt. Wie bereits erwähnt, ist diese Resonanzfrequenz auch von der momentanen Dichte des Fluids abhängig.

[0071] Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird das vibrierende Meßrohr **13**, wie bei solchen Wandleranordnungen vom Biegeschwingungs-Typ üblich, aus einer statischen Ruhelage räumlich, insb. lateral, ausgelenkt; gleiches gilt praktisch auch für solche Wandleranordnungen, bei denen ein oder mehrere gebogene Meßrohre Auslegerschwingungen um eine entsprechende, das jeweilige Einlaß- und Auslaßende virtuell verbindende Längsachse ausführen, oder auch für solche Wandleranordnungen, bei denen ein oder mehrere gerade Meßrohre lediglich ebene Biegeschwingungen um ihre Meßrohr-Längsachse ausführen. In einem weiteren Fall, daß als Meßaufnehmer **10**, wie z.B. in der erwähnten WO-A 95/16 897 beschrieben, eine Wandleranordnung vom peristaltischen Radialschwingungs-Typ dient und der Querschnitt des vibrierenden Maßrohrs in der dafür üblichen Weise symmetrisch verformt wird, verbleibt die Meßrohr-Längsachse in ihrer statischen Ruhelage.

[0072] Die Erregeranordnung **16** dient dazu, unter Umsetzung einer von der Meßgerät-Elektronik **50** eingespeisten elektrischen Erregerleistung  $F_{exc}$  eine auf das Meßrohr **13** einwirkende Erregerkraft  $F_{exc}$  zu erzeugen. Die Erregerleistung  $P_{exc}$  dient bei Erregung auf einer natürlichen Resonanzfrequenz praktisch lediglich zur Kompensation des über mechanische und fluidinterne Reibung dem Schwingungssystem entzogenen Leistungsanteils. Zur Erzielung eines möglichst hohen Wirkungsgrades ist die Erregerleistung  $P_{exc}$  daher möglichst ge-



nau so eingestellt, daß im wesentlichen die Schwingungen des Meßrohrs **13** im gewünschten Nutzmode, z.B. die einer Grund-Resonanzfrequenz, aufrecht erhalten werden.

[0073] Zum Zwecke des Übertragens der Erregerkraft  $F_{\text{exc}}$  auf das Meßrohr **13** weist die Erregeranordnung **16**, wie in **Fig. 5** dargestellt ist, eine starre, elektromagnetisch und/oder elektrodynamisch angetriebene Hebelanordnung **15** mit einem am Meßrohr **13** biegefest fixierten Ausleger **154** und mit einem Joch **163** auf. Das Joch **163** ist an einem vom Meßrohr **13** beabstandeten Ende des Auslegers **154** ebenfalls biegefest fixiert, und zwar so, daß es oberhalb des Meßrohrs **13** und quer zu ihm angeordnet ist.

[0074] Als Ausleger **154** kann z.B. eine metallische Scheibe dienen, die das Meßrohr **13** in einer Bohrung aufnimmt. Für weitere geeignete Ausführungen der Hebelanordnung **15** sei an dieser Stelle auf die bereits erwähnte US-A 60 06 609 verwiesen. Die Hebelanordnung **15** ist Y-förmig und so angeordnet, vgl. **Fig. 5**, daß sie etwa in der Mitte zwischen Einlaß- und Auslaßende **11**, **12** auf das Meßrohr **13** einwirkt, wodurch dieses im Betrieb mittig seine größte laterale Auslenkung erfährt.

[0075] Zum Antreiben der Hebelanordnung **15** umfaßt die Erregeranordnung **16** gemäß **Fig. 5** eine erste Erregerspule **26** und einen zugehörigen ersten dauermagnetischen Anker **27** sowie eine zweite Erregerspule **36** und einen zugehörigen zweiten dauermagnetischen Anker **37**. Die beiden, elektrisch bevorzugt in Reihe geschalteten, Erregerspulen **26**, **36** sind beiderseits des Meßrohrs **13** unterhalb des Jochs **163** am Tragrahmen **14**, insb. lösbar, so fixiert, daß sie mit ihrem jeweils zugehörigen Anker **27** bzw. **37** im Betrieb in Wechselwirkung stehen. Die beiden Erregerspulen **26**, **36**, können, falls erforderlich, selbstverständlich auch einander parallelgeschaltet sein.

[0076] Wie in **Fig. 3** und **5** dargestellt ist, sind die beiden Anker **27**, **37** derart voneinander beabstandet am Joch **163** fixiert, daß im Betrieb des Meßaufnehmers **10** der Anker **27** praktisch von einem Magnetfeld der Erregerspule **26** und der Anker **37** praktisch von einem Magnetfeld der Erregerspule **36** durchsetzt und aufgrund entsprechender elektrodynamischer und/oder elektromagnetischer Kraftwirkungen bewegt wird.

[0077] Die mittels der Magnetfelder der Erregerspulen **26**, **36** erzeugten Bewegungen der Anker **27**, **37** werden vom Joch **163** und vom Ausleger **154** auf das Meßrohr **13** übertragen. Diese Bewegungen der Anker **27**, **37** sind so ausgebildet, daß das Joch **163** alternierend in Richtung der Seitenplatte **24** oder in Richtung der Seitenplatte **34** aus seiner Ruhelage ausgelenkt wird. Eine entsprechende, zur bereits erwähnten Meßrohr-Mittelachse **13B** parallele Drehachse der Hebelanordnung **15** kann z.B. durch den Ausleger **154** verlaufen.

[0078] Der als Trägerlement für die Erregeranordnung **16** dienende Tragrahmen **14** umfaßt ferner eine mit den Seitenplatten **24**, **34**, insb. lösbar, verbundene Halterung **29** zum Haltern der Erregerspulen **26**, **36** und ggf. einzelner Komponenten einer weiter unten genannten Magnetbremsanordnung **217**.

[0079] Seien Meßaufnehmer **10** des Ausführungsbeispiels bewirken die lateralen Auslenkungen des am Einlaßende **11** und am Auslaßende **12** fest eingespannten, vibrierenden Maßrohrs **13** gleichzeitig eine elastische Verformung seines Meßrohrlumens **13A**, die praktisch über die gesamte Länge des Meßrohrs **13** ausgebildet ist.

[0080] Ferner wird im Meßrohr **13** aufgrund eines über die Hebelanordnung **15** auf dieses wirkenden Drehmoments gleichzeitig zu den lateralen Auslenkungen zumindest abschnittsweise eine Verdrehung um die Meßrohr-Mittelachse **13B** erzwungen, so daß das Meßrohr **13** praktisch in einem als Nutzmode dienenden gemischten Biegeschwings-Torsionsmode schwingt. Die Verdrehung des Maßrohrs **13** kann dabei so ausgebildet sein, daß eine laterale Auslenkung des vom Meßrohr **13** beabstandeten Ende des Auslegers **154** entweder gleich- oder entgegen-gerichtet zur lateralen Auslenkung des Meßrohrs **13** ist. Das Meßrohr **13** kann also Torsionsschwingungen in einem dem gleich-gerichteten Fall entsprechenden ersten Biegeschwings-Torsionsmode oder in einem dem entgegen-gerichtet Fall entsprechenden zweiten Biegeschwings-Torsionsmode ausführen. Dann ist beim Meßaufnehmer **10** gemäß dem Ausführungsbeispiel die natürliche Grund-Resonanzfrequenz des zweiten Biegeschwings-Torsionsmodes von z.B. 900 Hz annähernd doppelt so hoch wie die des ersten Biegeschwings-Torsionsmodes.

[0081] Für den Fall, daß das Meßrohr **13** betriebsmäßig Schwingungen lediglich im zweiten Biegeschwings-Torsionsmode ausführen soll, ist eine auf dem Wirbelstromprinzip beruhende Magnetbremsanordnung **217** in die Erregeranordnung **16** integriert, die dazu dient, die Lage der erwähnten Drehachse zu stabilisieren. Mittels der Magnetbremsanordnung **217** kann somit sichergestellt werden, daß das Meßrohr **13** stets im zweiten Biegeschwings-Torsionsmode schwingt und somit allfällige äußere Störeinflüsse auf das Meßrohr **13** nicht zu einem spontanen Wechsel in einen anderen, insb. nicht in den ersten, Biegeschwings-Torsionsmode führen. Einzelheiten einer solchen Magnetbremsanordnung sind in der US-A 60 06 609 ausführlich beschrieben.

[0082] Es sei an dieser Stelle noch erwähnt, daß bei dem auf diese Weise gemäß dem zweiten Biegeschwings-Torsionsmode ausgelenkten Meßrohr **13** die gedachte Meßrohr-Mittelachse **13B** praktisch leicht deformiert wird und somit bei den Schwingungen keine Ebene sondern eher eine schwach gewölbte Fläche aufspannt. Ferner weist eine in dieser Fläche liegende, vom Mittelpunkt der Meßrohr-Mittelachse beschriebene Bahnkurve die kleinste Krümmung aller von der Meßrohr-Mittelachse beschriebenen Bahnkurven auf.

[0083] Zum Vibrierenlassen des Meßrohrs **13** wird die Erregeranordnung **16** mittels eines gleichfalls oszillie-



renden Erregerstroms  $i_{exc}$ , insb. von einstellbarer Amplitude und von einstellbarer Erregerfrequenz  $f_{exc}$ , derart gespeist, daß die Erregerspulen **26, 36** im Betrieb von diesem durchflossen sind und in entsprechender Weise die zum bewegen der Anker **27, 37** erforderlichen Magnetfelder erzeugt werden. Der Erregerstrom  $i_{exc}$  wird, wie in **Fig. 2** schematisch dargestellt, von einer in der Meßgerät-Elektronik **50** vorgesehenen Betriebsschaltung **50A** geliefert und kann beispielsweise ein harmonischer Wechselstrom sein. Die Erregerfrequenz  $f_{exc}$  des Erregerstroms  $i_{exc}$  ist beim hier gezeigten Ausführungsbeispiel vorzugsweise so gewählt oder sie stellt sich so ein, daß das lateral schwingende Meßrohr **13** möglichst ausschliesslich im zweiten Biegeschwings-Torsionsmode torsional schwingt.

[0084] Zum Detektieren der Verformungen des Meßrohrs **13** umfaßt der Meßaufnehmer **10** ferner eine Sensoranordnung **60**, die, wie in **Fig. 2, 3** gezeigt, mittels wenigstens eines auf Vibrationen des Meßrohrs **13** reagierenden erstes Sensorelements **17** ein diese repräsentierendes erstes, insb. analoges, Meßsignal  $s_1$  erzeugt. Das Sensorelement **17** kann z.B. mittels eines dauermagnetischen Ankers gebildet sein, der am Meßrohr **13** fixiert ist und mit einer vom Tragrahmen **14** gehaltenen Sensorelektrode in Wechselwirkung steht.

[0085] Als Sensorelement **17** sind besonders solche geeignet, die, basierend auf dem elektrodynamischen Prinzip, eine Geschwindigkeit der Auslenkungen des Meßrohrs **13** erfassen. Es können aber auch beschleunigungsmessende elektrodynamische oder aber auch wegmessende resistive oder optische Sensoren verwendet werden. Selbstverständlich können auch andere dem Fachmann bekannte und für die Detektion solcher Vibrationen geeignete Sensoren, wie z.B. Dehnungen des Meßrohrs **13** erfassende Sensoren, verwendet werden.

[0086] Die Sensoranordnung **60** umfaßt ferner einen, insb. zum ersten Sensorelement **17** identisches, zweites Sensorelement **18**, mittels dem sie ein ebenfalls Vibrationen des Meßrohrs **13** repräsentierendes zweites Meßsignal  $s_2$  liefert. Die beiden Sensorelemente **17, 18** sind bei dieser Ausgestaltung entlang des Meßrohrs **13** voneinander beabstandet, insb. in einem gleichen Abstand von der Mitte des Meßrohrs **13**, so im Meßaufnehmer **10** angeordnet, daß mittels der Sensoranordnung **60** sowohl einlaß-seitige als auch auslaß-seitige Vibrationen des Meßrohrs **13** örtlich erfasst und in die entsprechenden Meßsignale  $s_1$  bzw.  $s_2$  abgebildet werden.

[0087] Das erste und ggf. das zweite Meßsignal  $s_1$  bzw.  $s_2$ , von denen jedes üblicherweise eine der momentanen Schwingfrequenz des Meßrohrs **13** entsprechende Signalfrequenz aufweist, sind, wie in **Fig. 2** gezeigt, einer der Meßgerät-Elektronik **50** vorgesehenen, vorzugsweise digitalen, Auswerteschaltung **50B** zugeführt, die dazu dient, einen die zu erfassende Prozeßgröße, hier z.B. den Massendurchfluß, die Dichte, die Viskosität oder den Druck, momentan repräsentierenden Meßwert  $X$ , insb. numerisch, zu ermitteln und in ein entsprechendes, ausgangs der Auswerteschaltung abgreifbares Meßwertsignal umzuwandeln.

[0088] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist die Auswerteschaltung **50B** unter Verwendung eines in der Meßgerät-Elektronik **50** vorgesehenen Mikrocomputers realisiert, der in entsprechender Weise so programmiert ist, daß er den Meßwert  $X$  anhand der von der Sensoranordnung **60** gelieferten Meßsignale ermittelt. Zur Realisierung des Mikrocomputers können z.B. sowohl herkömmliche Mikroprozessoren als auch moderne Signalprozessoren verwendet werden.

[0089] Während beim hier gezeigten Meßaufnehmer die Dichte oder auch Viskosität durchaus anhand eines einzigen der Meßsignale  $s_1, s_2$  bestimmbar sind, werden für den Fall, daß der Massedurchfluß gemessen werden soll, in der dem Fachmann bekannten Weise beide Meßsignale  $s_1, s_2$  verwendet, um so, beispielsweise reell im Signal-Zeitbereich oder komplex im Signal-Frequenzbereich, eine primär vom Massedurchfluß abhängige Phasendifferenz zu ermitteln.

[0090] Das Prozeß-Meßgerät ist darüber hinaus mit Mitteln ausgestattet, die eine Kompensation temperaturbedingter Einflüsse auf die verwendeten Meßsignale  $s_1$  und/oder  $s_2$  ermöglichen und somit eine hohe Genauigkeit des Meßwertsignals auch über einen großen Temperaturbereich und auch während einer Änderung der Temperaturverteilung innerhalb des Meßaufnehmers gewährleisten.

[0091] Zu diesem Zweck ist in der Sensoranordnung **60** weiters wenigstens ein erster Temperatursensor **40** vorgesehen, der dazu dient eine erste Temperatur  $T_1$  an einer ersten Meßstelle im Meßaufnehmer zu erfassen und ein mit dieser erfaßten Temperatur  $T_1$  korrespondierendes erstes elektrisches, insb. kontinuierliches, Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$  zu erzeugen. Der Temperatursensor **40** ist dazu bevorzugt so im Meßaufnehmer angebracht, daß das von ihm gelieferte Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$  zumindest bei stationärer Temperaturverteilung innerhalb des Meßaufnehmers möglichst gut mit einer Temperatur des Prozeß-Mediums korreliert ist; es sei an dieser Stelle noch erwähnt, daß das Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$  vorzugsweise zwar eine absolut gemessene erste Temperatur repräsentiert, ggf. aber z.B. auch eine bezüglich einer konstant gehaltenen Referenztemperatur relativ gemessenen Temperaturdifferenz sein kann.

[0092] Der Temperatursensor **40** ist nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung so im Meßaufnehmer angebracht, daß er im wesentlichen eine Temperatur des Meßrohrs **13** mißt und ein mit dieser gemessenen Temperatur korrespondierendes erstes elektrisches Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$  liefert. Der Temperatursensor **40** kann hierzu z.B. direkt auf dem Meßrohr **13** angebracht sein, doch wäre er dann dauernd dessen mechanischen Schwingungen ausgesetzt, was wiederum Probleme hinsichtlich der Dauerfestigkeit ergäbe. Sei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Temperatursensor **40** daher vorzugsweise an einem der ver-

gleichsweise weniger stark schwingenden Verlängerungsstücke **131**, **132**, hier dem auslaßseitigen, des Maßrohrs **13** angebracht.

[0093] Nach einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist zur Verbesserung der Meßgenauigkeit in der Sensoranordnung **60** ein zweiter Temperatursensor **41** vorgesehen, der so im Meßaufnehmer **10** angebracht ist, daß er eine zweite Temperatur  $T_2$  an einer von der ersten Meßstelle entfernten zweiten Meßstelle erfaßt. Zu diesem Zwecke ist der Temperatursensor **41** nach einer bevorzugten Ausgestaltung dieser Weiterbildung der Erfindung an einer Innenseite einer Wand des Meßaufnehmer-Gehäuses **100** angeordnet, so daß er als zweite Temperatur  $T_2$  praktisch eine Temperatur des Meßaufnehmer-Gehäuses **100** mißt. Der Temperatursensor **41** kann aber z.B. auch am Tragrahmen **14** fixiert sein.

[0094] Im übrigen sei noch darauf hingewiesen, daß, allein im Hinblick auf die Temperatur-Kompensation der Meßsignale, praktisch kaum Beschränkungen für die Anordnung der Temperatursensoren **40**, **41** innerhalb des Meßaufnehmers zu berücksichtigen sind und somit eine Vielzahl von anderen Möglichkeiten für die Positionierung des wenigstens einen Temperatursensors **40** sowie weiterer ggf. vorgesehener Temperatursensoren gegeben ist. Zudem können als Temperatursensoren dem Fachmann bekannte, insb. bislang auch bei herkömmlichen Meßaufnehmer eingesetzte Temperatursensoren oder dergleichen, verwendet werden. Vorzugsweise kommen für die genannten Anwendungen insb. temperaturabhängige Widerstände aus Metall, z.B. Pt 100 oder Pt 1000, oder aus Halbleitermaterial in Frage. Des weiteren können, falls erforderlich, zusätzlich zu den Temperatursensoren **40**, **41** selbstverständlich weitere im Meßgerät, beispielsweise auch in der Bläse des Elektronik-Gehäuses, angeordnete Temperatursensoren bei der Kompensation der temperaturbedingten Einflüsse auf das wenigstens eine Meßsignal mit berücksichtigt werden.

[0095] Wie in der **Fig. 2** oder auch **6** dargestellt, sind die von den Temperatursensoren **40**, **41** erzeugten und ausgangs der Sensoranordnung **60** abgreifbaren Temperatur-Meßsignale  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  ebenfalls der Auswerteschaltung **50B** zugeführt und so einer Weiterverarbeitung, insb. einer Kompensation der Meßsignale  $s_1$ ,  $s_2$ , zugänglich.

[0096] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird das Meßsignal  $s_1$ , wie in **Fig. 6** schematisch dargestellt, zunächst mittels einer in der Auswerteschaltung **50B** vorgesehenen Meßstufe MS in einen nicht temperatur-kompensierten oder auch unkorrigierten Zwischen-Meßwert  $X'$  überführt. Dieser wird dann wiederum mittels der Auswerteschaltung **50B** unter Verwendung wenigstens des einen von der Sensoranordnung **60** gelieferten Temperatur-Meßsignals  $\theta_1$  korrigiert und so in den Meßwert  $X$  umgewandelt. Bevorzugt wird jedoch auch wenigstens das ebenfalls von der Sensoranordnung **60** gelieferte Temperatur-Meßsignals  $\theta_2$  zur Korrektur des Zwischen-Meßwerts  $X$  herangezogen.

[0097] Zur Korrektur der Zwischen-Meßwerts  $X$  wird innerhalb einer entsprechenden Korrigierstufe KS der Auswerteschaltung **50B** wenigstens ein erster, analoger oder digitaler, Korrekturwert  $K_1$  für den vom wenigstens eine Meßsignal  $s_1$  abgeleiteten unkorrigierten Zwischen-Meßwert  $X$  bestimmt. Im weiteren kann der so ermittelte Korrekturwert  $K_1$  dann z.B. in einfacher Weise mit dem unkorrigierten Meßwert  $X$ , gemäß folgender einfacher Funktion:

$$X = K_1 \cdot X' \quad (1)$$

in der Korrekturstufe KS multipliziert werden.

[0098] Der mit der Korrekturstufe KS gebildet Korrekturwert  $K_1$  wird, wie in **Fig. 6** dargestellt, unter Berücksichtigung des einen Temperatur-Meßsignals  $\theta_1$ , vorzugsweise aber unter Berücksichtigung wenigstens der beiden von der Sensoranordnung **60** gelieferten Temperatur-Meßsignale  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  gebildet.

[0099] Erfindungsgemäß wird darüber hinaus zumindest das für die Ermittlung des wenigstens einen Korrekturwerts  $K_1$  verwendete Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$  vorab in ein Temperatur-Schätzsignal  $\theta_1'$  überführt. Die Erzeugung des Temperatur-Schätzsignals  $\theta_1'$  dient dazu, eine vom zeitlichen Verlauf des einen Temperatur-Meßsignals  $\theta_1$  beeinflusste, momentane Temperatururteilung möglichst gut abzuschätzen und abzubilden, und zwar unter Berücksichtigung nicht nur eines momentanen Signalwerts des Temperatur-Meßsignals  $\theta_1$ , wie z.B. in den eingangs erwähnten US-A 47 68 384, US-A 56 87 100, WO-A 88 02 476 oder WO-A 01 02816 vorgeschlagen, sondern auch anhand von Signalwerten aus dessen Vergangenheit. Es werden also vom Temperatursensor **40** zuvor von der Temperatur  $T_1$  erfaßte Temperaturwerte mit berücksichtigt. Ein Beispiel für mögliche Verläufe der Temperaturen  $T_1$ ,  $T_2$  während eines Übergangsbereichs der Zeitspanne  $t_2-t_1$  ist in der **Fig. 7** schematisch dargestellt. Falls erforderlich, kann bei der Erzeugung des Meßwerts  $X$  zusätzlich zum Temperatur-Schätzsignal  $\theta_1$ , selbstverständlich auch ein momentaner Signalwert des Temperatur-Meßsignals  $\theta_1$  für sich allein mit berücksichtigt werden.

[0100] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird das Temperatur-Schätzsignal  $\theta_1'$  mittels der Meßgerät-Elektronik **50** auf der Basis folgender mathematischen Beziehung erzeugt:

$$\theta_1' = G_{10} + G_{11} \cdot \theta_1 \dots \quad (2)$$

worin

$G_{10}$  ein veränderlicher oder aber auch konstant gehaltener, insb. aber von den gemessenen Temperaturen unabhängiger Koeffizient ist und

$G_{11}$  eine Gewichtsfunktion eines Signalfilters ist, mit der das von der Sensoranordnung gelieferte Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$  gefaltet wird.

[0101] Der Korrekturwert  $K_1$  läßt sich unter Verwendung des Temperatur-Schätzsignals  $\theta_1'$  nunmehr mittels einfacher, insb. lineare, mathematische Beziehungen, wie z.B. die folgende:

$$K_1 = 1 + k_{11} \cdot \theta_1', \quad (3)$$

berechnen, worin

$k_{11}$  ein den Zusammenhang zwischen der mit dem Temperatur-Schätzsignal  $\theta_1'$  abgeschätzten wirksamen Temperatur und dem Korrekturwert  $K_1$  vermittelnder erster Koeffizient ist, der auf dem tatsächlich berücksichtigten die Empfindlichkeit beeinflussenden ersten Parameter, beispielsweise einer sich ändernder, axial zum Meßrohr 13 wirkenden mechanischen Spannung, basiert.

[0102] Falls erforderlich, kann darüber hinaus für die Ermittlung des Temperatur-Schätzsignals  $\theta_1'$  beispielsweise auch das mit sich selbst amplituden-modulierte Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$  in der Form  $G_{12} \cdot \theta_1^2$  oder aber auch das mit dem Temperatur-Meßsignal  $\theta_2$  amplituden-modulierte Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$  in der Form  $G_{13} \cdot \theta_1 \theta_2$  mit berücksichtigt werden.

[0103] nach einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung wird für die Ermittlung des Korrekturwerts  $K_1$  wenigstens auch das Temperatur-Meßsignal  $\theta_2$  vorab in ein entsprechendes zweites Temperatur-Schätzsignal  $\theta_2'$ , z.B. auf Basis der folgenden mathematischen Beziehung:

$$\theta_2' = G_{20} + G_{21} \cdot \theta_2 \dots, \quad (4)$$

gewandelt.

[0104] Unter Vernachlässigung von allfälligen Termen höherer Ordnung kann dann die mit Gl.(3) formulierte, lediglich vom Temperatur-Meßsignals  $\theta_1$  abhängige Berechnungsvorschrift für den Korrekturwert  $K_1$  dann wie folgt modifiziert werden:

$$K_1 = 1 + k_{11} \cdot \theta_1' + k_{12} \cdot \theta_2', \quad (5)$$

so daß der Korrekturwert  $K_1$  nunmehr auch vom Temperatur-Meßsignal  $\theta_2$  abhängig ist. Der in Gl.(5) eingeführte zweite Koeffizient  $k_{12}$  ist in Analogie zu Gl.(3) ein den Zusammenhang zwischen dem Temperatur-Schätzsignal 82 und dem Korrekturwert  $K_1$  vermittelnder Koeffizient, der ebenfalls auf dem tatsächlich berücksichtigten ersten Parameter basiert.

[0105] Unter Verwendung von Gl.(5) kann die in Gl.(1) formulierte Berechnungsvorschrift für den Meßwert  $X$  dann in folgender Weise verfeinert werden:

$$X = (1 + k_{11} \cdot \theta_1' + k_{12} \cdot \theta_2') \cdot X \quad (6)$$

[0106] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird, insb. für den Fall, daß die momentane Temperaturverteilung gleichzeitig auf mehrere, die Empfindlichkeit des Meßaufnehmers beeinflussende Parameter einwirkt, zusätzlich zum Korrekturwert  $K_1$  ein zweiter Korrekturwert  $K_2$  für den unkorrigierten Zwischen-Meßwert  $X$  bestimmt.

[0107] Bei dem hier gezeigten Meßaufnehmer beeinflußt die momentane Temperaturverteilung nämlich beispielsweise sowohl den E-Modul des Maßrohrs 13, als auch, wenn auch in anderer Weise, eine momentane Verteilung mechanischer Spannungen innerhalb des Meßaufnehmers 10, insb. auch innerhalb des Meßrohrs 13. Dementsprechend hat diese momentane Temperaturverteilung auch auf verschiedene Weise Einfluß auf dessen Schwingungsverhalten, z.B. hinsichtlich der natürlichen Resonanzfrequenzen des Meßrohrs 13 oder auch hinsichtlich eines Verhältnisses zwischen den Schwingungsamplituden des Nutz- und des Coriolismodes.

[0108] Unter Berücksichtigung dessen erfolgt die Ermittlung des Meßwerts  $X$  in der Korrekturstufe vorzugsweise basierend auf der gegenüber der Gl.(1) erweiterten mathematischen Beziehung:

$$X = K_1 \cdot K_2 \cdot X. \quad (7)$$

[0109] Die Überführung des Meßsignals  $s_1$  in den Zwischen-Meßwert  $X'$  und dessen Kombination mit dem, vorzugsweise digitalen, Korrekturwert  $K_1$  bzw. den Korrekturwerten  $K_1$ ,  $K_2$  hat u.a. den Vorteil, daß für diese Art der Ermittlung des Meßwerts  $X$  anhand des Zwischen-Meßwert  $X'$  und der Korrekturwerte  $K_1$ ,  $K_2$  praktisch keine wesentlichen Veränderungen an den in herkömmlichen Prozeß-Meßgeräten der beschriebenen Art bislang

angewendeten Meß- bzw. Auswerte-Verfahren vorgenommen werden müssen.

[0110] Ausgehend von den Gln.(1), (3), (5), (6) und/oder (7) kann nunmehr ohne weiteres eine Korrektur des Zwischen-Meßwerts  $X'$  auch unter Berücksichtigung weiterer die Empfindlichkeit beeinflussenden Parameter vorgenommen werden. Beispielsweise kann der Meßwert  $X$  unter Berücksichtigung eines zweiten, die Empfindlichkeit des Meßaufnehmers beeinflussenden Parameters in einfacher Weise wie folgt ermittelt werden:

$$X = (1 + k_{11} \cdot \theta_1' + k_{12} \cdot \theta_2') \cdot (1 + k_{21} \cdot \theta_1'') \cdot X \quad (8)$$

berechnen, worin

$k_{21}$  ein den Zusammenhang zwischen der geschätzten Temperatur-Schätzsignal  $\theta_1'$  und dem Korrekturwert  $K_1$  vermittelnder dritter Koeffizient ist, der auf dem tatsächlich berücksichtigten zweiten Parameter, beispielsweise einem sich ändernden E-Modul, basiert.

[0111] Ein Koeffizientenvergleich zwischen Gl.(6) und Gl.(8) zeigt, daß hierbei der Korrekturwert  $K_2$  z.B. mit:

$$K_2 = 1 + k_{21} \cdot \theta_1', \quad (9)$$

berechnet werden kann.

[0112] Zum Erzeugen des wenigstens einen Temperatur-Schätzsignals  $\theta_1'$  umfaßt die erfindungsgemäße Meßgerät-Elektronik nach einer bevorzugten Ausgestaltung eine der Korrekturstufe KS vorgeschaltete Filterstufe FS für von der Sensoranordnung 60 gelieferte Temperatur-Meßsignale mit wenigstens einem ersten Signalfilter  $SF_1$  für das Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$ , vgl. Fig. 6. Für den bevorzugten Fall, daß die Korrekturschaltung auch das zweite Temperatur-Schätzsignal  $\theta_2$  verwendet, ist in der Filterstufe FS ferner wenigstens ein zweites Signalfilter  $SF_2$  für das Temperatur-Meßsignal  $\theta_2$  vorgesehen.

[0113] Die Signalfilter  $SF_1$ ,  $SF_2$  der Filterstufe FS sind hierbei so dimensioniert und auf einander abgestimmt, insb. in ihrer Filterordnung und ihren Filterparametern so eingestellt, daß mit der so jeweils definierten Gewichtsfunktion  $G_{11}$ ,  $G_{21}$  und dem jeweils darüber gefalteten Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$  bzw.  $\theta_2$  eine das Meßsignal  $s_1$  und ggf. auch das zweite Meßsignal  $s_2$  beeinflussende momentane Temperaturverteilung innerhalb des Meßaufnehmers 10 möglichst genau nachgebildet oder auch simuliert wird, und zwar unter Berücksichtigung nicht nur momentaner Signalwerte des jeweils eingespeisten Temperatursignals  $\theta_1$  oder  $\theta_2$ , sondern auch anhand von Signalwerten aus der Vergangenheit des entsprechenden Temperatursignals  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ . Darüber hinaus sind die Signalfilter  $SF_1$ ,  $SF_2$ , insb. im Hinblick auf ihre Signalverstärkung und ihre Signalverzögerung, aber auch so dimensioniert, daß auch die Wirkung der zumindest implizit geschätzten momentanen Temperaturverteilung auf die Empfindlichkeit in kompensierender Weise berücksichtigt wird.

[0114] Vorzugsweise ist die Gewichtsfunktion  $G_{11}$  des Signalfilters  $SF_1$  so gewählt, daß das Temperatur-Schätzsignal  $\theta_1'$  in Reaktion auf eine Veränderung, beispielsweise einer Erhöhung, des Temperatursignals  $\theta_1$  deutlich verzögert einen dem momentanen Signalwert des Temperatursignals  $\theta_1$  proportionalen Signalwert annimmt. In entsprechender Weise wird dann auch die Meßgerät-Elektronik 50B auf eine mit einer Änderung der ersten Temperatur korrespondierenden Änderung des ersten Temperatur-Meßsignals  $\theta_1$  zeitverzögert mit einer Änderung des ersten Korrekturwerts  $K_1$  reagieren. Beispielsweise kann die Gewichtsfunktion  $G_{11}$  zu diesem Zweck neben einer proportional verstärkenden Komponente, auch wenigstens eine zeitlich integrierende Komponente erster oder höherer Ordnung aufweisen. Dementsprechend kann das Signalfilter  $SF_1$  beispielsweise ein Tiefpaß-Filter sein.

[0115] Die für den jeweiligen Meßaufnehmer-Typ tatsächlich geeigneten Filterordnungen für die im einzelnen verwendeten Signalfilter lassen sich am besten vorab bei der Entwicklung und Projektierung des Prozeß-Meßgeräts anhand von Prototypen des Meßgeräts experimentell oder aber auch unter Anwendung computergestützter numerischer Berechnungen, wie z.B. unter Anwendung von mittels finiter Elemente numerisch rechnenden Algorithmen, ermitteln und optimieren. Ausgehend von den vorab, insb. empirisch, ermittelten Filterordnungen können dann die tatsächlich für das jeweilige Prozeß-Meßgerät geeigneten Filterparameter z.B. mittels meßgerät- oder meßgerätetyp-spezifischen Kalibriermessungen bestimmt werden, insb. in Verbindung mit Rechenalgorithmen, die die Filterparameter numerisch ermitteln und z.B. nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate oder auch generisch optimieren.

[0116] nach einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung wird das von der Sensoranordnung 60 gelieferte erste Temperatursignal  $\theta_1$  vor der Weiterverarbeitung in der Auswerteschaltung, jedenfalls aber vor der Berechnung des Korrekturwerts  $K_1$ , mittels eines ersten A/D-Wandlers  $AD_1$ , wie auch in den Fig. 7 und 8 schematisch dargestellt, zeitdiskret abgetastet und ein erstes Digitalsignal  $\theta_{1D}$  umgewandelt. In analoger Weise wird, wie in Fig. 8 schematisch dargestellt, das vorzugsweise ebenfalls verwendete zweite Temperatursignal  $\theta_2$  mittels eines zweiten A/D-Wandlers  $AD_2$  in ein zweites Digitalsignal  $\theta_{2D}$  konvertiert.

[0117] In einer Ausgestaltung dieser Weiterbildung dient als Signalfilter für das Temperatur-Meßsignal  $\theta_1$  ein digitales Signalfilter  $SF_{1D}$ , das für die Berechnung des Temperatur-Schätzsignal  $\theta_1'$  folgenden numerischen Algorithmus umsetzt:

$$\theta_{1,t} = \sum_{k=0}^M a_k \cdot \theta_{1,t-k\Delta t} - \sum_{k=1}^N b_k \cdot \theta_{1,t-k\Delta t} \quad (10)$$

wobei wenigstens zwei, bevorzugt aber mehrere von M möglichen Koeffizienten  $a_k$  von Null verschieden sind. In dazu analoger Weise kann für das Temperatur-Meßsignal  $\theta_2$  ein zweites digitales Signalfilter  $SF_{2D}$  verwendet werden, vgl. **Fig. B**.

[0118] Für den Fall, daß in der mit Gl.(10) gegebenen allgemeinen Berechnungsvorschrift wenigstens einer der N möglichen Koeffizienten  $b_k$  von Null verschieden ist, handelt es sich bei dem so realisierten digitalen Signalfilter  $SF_{1D}$  um ein rekursives Filter mit einer zumindest theoretisch unendlichen Impulsantwort; andernfalls ist das digitale Signalfilter  $SF_{1D}$  ein nicht-rekursives Filter mit einer endlichen Impulsantwort.

[0119] Für vorgenannten Fall, daß die Temperatur-Meßsignale  $\theta_1, \theta_2$  digitalisiert, also inform von Abtastfolgen der Temperatur-Meßsignale  $\theta_1, \theta_2$  weiter verwendet werden, kann die Filterstufe FS bei Verwendung entsprechend leistungsfähiger Mikroprozessoren, insb. Signalprozessoren, praktisch vollständig mittels des erwähnten Mikrocomputers und entsprechender Software realisiert werden, die auch die Rechenalgorithmen für die digitalen Signalfilter umfaßt. Weiters kann in vorteilhafter Weise sowohl die Ermittlung des Korrekturwerts  $K_1$  und als auch die des Meßwerts X durch Ausführen entsprechend vorgehaltener Computerprogramme mittels Mikrocomputer erreicht werden.

[0120] In Kenntnis der Erfindung besteht nunmehr für den Fachmann kaum eine Schwierigkeit, eine geeignete digitale oder ggf. auch hybride, also gemischt analog-digitale, Auswerteschaltung, insb. auch eine geeignete Filterstufe, zu entwerfen, die aufgrund der zur Verfügung stehende Temperatur-Meßsignale  $\theta_1, \theta_2$  und entsprechender Vergleichsmessungen für die Prozeßgröße das Meßsignal  $s_1$  bzw. die Meßsignale so verarbeitet, daß der unkorrigierte Meßwert X' in Kombination mit dem wenigstens einen Korrekturwert  $K_1$  den Meßwert X mit ausreichender Genauigkeit liefert.

### Patentansprüche

1. Prozeß-Meßgerät zum Messen wenigstens einer physikalischen Prozeßgröße, insb. eines Massedurchflusses, einer Dichte, einer Viskosität, eines Drucks oder dergleichen, eines in einem Prozeßbehälter vorgehaltenen oder in einer Prozeßleitung strömenden Mediums, welches Meßgerät umfaßt:

- einen Meßaufnehmer (10)
- mit einer Meßsignale ( $s_1, s_2$ ) liefernden Sensoranordnung (60),
- die wenigstens ein primär auf die physikalische Prozeßgröße, insb. auch Änderungen der Prozeßgröße, reagierendes erstes Sensorelement (17) aufweist und mittels des ersten Sensorelements (17) wenigstens ein von der physikalischen Prozeßgröße beeinflusstes erstes Meßsignal ( $s_1$ ) liefert, und
- die darüber hinaus wenigstens einen im Meßaufnehmer (10) angeordnete ersten Temperatursensor (40) aufweist, der eine erste Temperatur,  $T_1$ , im Meßaufnehmer (10) örtlich erfaßt, und
- die mittels des wenigstens einen Temperatursensors (40) wenigstens ein die erste Temperatur,  $T_1$ , im Meßaufnehmer (10) repräsentierendes erstes Temperatur-Meßsignal ( $\theta_1$ ) liefert, sowie
- eine Meßgerät-Elektronik (50), die unter Verwendung wenigstens des ersten Meßsignals ( $s_1$ ) und unter Verwendung eines ersten Korrekturwerts ( $K_1$ ) für das wenigstens erste Meßsignal ( $s_1$ ) wenigstens einen die physikalische Größe momentan repräsentierenden Meßwert (X), insb. einen Massendurchfluß-Meßwert, einen Dichte-Meßwert, einen Viskositäts-Meßwert oder einen Druck-Meßwert, erzeugt,
- wobei die Meßgerät-Elektronik (50) im betrieb den ersten Korrekturwert ( $K_1$ ) anhand eines zeitlichen Verlaufs des wenigstens ersten Temperatur-Meßsignals ( $\theta_1$ ) dadurch ermittelt, daß in der Vergangenheit mittels des ersten Temperatursensors (40) erfaßte Temperaturwerte mit berücksichtigt werden.

2. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 1, bei dem die Meßgerät-Elektronik im Betrieb auf eine mit einer Änderung der ersten Temperatur korrespondierenden Änderung des ersten Temperatur-Meßsignals ( $\theta_1$ ) zeitverzögert mit einer Änderung des ersten Korrekturwerts ( $K_1$ ) reagiert.

3. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 1 oder 2,

- bei dem die Sensoranordnung (60) wenigstens einen im Meßaufnehmer (10), insb. vom ersten Temperatursensor (40) beabstandet, angeordneten zweiten Temperatursensor (41) aufweist, der eine zweite Temperatur,  $T_2$ , im Meßaufnehmer (10) örtlich erfaßt, und
- bei dem die Sensoranordnung (60) mittels des zweiten Temperatursensors (41) wenigstens ein die zweite Temperatur,  $T_2$ , repräsentierendes zweites Temperatur-Meßsignal ( $\theta_2$ ) liefert.

4. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 3, bei dem Meßgerät-Elektronik (50) den ersten Korrekturwert ( $K_1$ ) auch unter Verwendung des zweiten Temperatur-Meßsignals ( $\theta_2$ ) ermittelt.

5. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 3 oder 4,
  - bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) anhand eines zeitlichen Verlaufs wenigstens des zweiten Temperatur-Meßsignals ( $\theta_2$ ) einen zweiten Korrekturwert ( $K_2$ ) ermittelt und
  - bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) den Meßwert (X) auch unter Verwendung des zweiten Korrekturwerts ( $K_2$ ) erzeugt.
6. Prozeß-Meßgerät nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem die Meßgerät-Elektronik (50) eine Filterstufe (FS) zum Erzeugen des wenigstens ersten Korrekturwerts ( $K_1$ ) umfaßt, wobei das erste Temperatur-Meßsignal ( $\theta_1$ ) einem ersten Signaleingang der Filterstufe (FS) zugeführt ist.
7. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 6, bei dem die Filterstufe (FS) einen ersten A/D-Wandler ( $AD_A$ ) für das erste Temperatur-Meßsignal ( $\theta_1$ ) aufweist, der dieses in ein erstes Digitalsignal ( $\theta_{1D}$ ) wandelt.
8. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 7, bei dem die Filterstufe ein erstes digitales Signalfilter ( $SF_{1D}$ ) für das erste Digitalsignal ( $\theta_{1D}$ ) umfaßt.
9. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 8, bei dem das erste digitale Signalfilter ( $SF_{1D}$ ) ein rekursives Filter ist.
10. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 8, bei dem das erste digitale Signalfilter ein nicht-rekursives Filter ist.
11. Prozeß-Meßgerät nach einem Anspruch 5,
  - bei dem die Filterstufe (FS) auch zum Erzeugen des zweiten Korrekturwerts ( $K_2$ ) dient, wobei das zweite Temperatur-Meßsignal ( $\theta_2$ ) einem zweiten Signaleingang der Filterstufe (FS) zugeführt ist, und
  - bei dem die Filterstufe (FS) einen zweiten A/D-Wandler ( $AD_2$ ) für das zweite Temperatur-Meßsignal ( $\theta_2$ ) aufweist, der dieses in ein zweites Digitalsignal ( $\theta_{2D}$ ) wandelt.
12. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 7, bei dem die Filterstufe ein zweites digitales Signalfilter für das zweite Digitalsignal ( $V_{2D}$ ) umfaßt.
13. Prozeß-Meßgerät nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem der Meßaufnehmer wenigstens ein Meßrohr (13) zum Führen des, insb. strömenden, Mediums umfaßt.
14. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 13, bei dem wenigstens einer der beiden Temperatursensoren (40, 41) auf dem Meßrohr oder in dessen Nähe angeordnet ist.
15. Prozeß-Meßgerät nach einem der Ansprüche 13 bis 19, bei dem der Meßaufnehmer (10) ein das Meßrohr (13) umhüllendes Meßaufnehmer-Gehäuse (100) umfaßt.
16. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 15, bei dem wenigstens einer der beiden Temperatursensoren (40, 41) am Meßaufnehmer-Gehäuse (100) fixiert oder zumindest in dessen Nähe angeordnet ist.
17. Prozeß-Meßgerät nach einem der Ansprüche 13 bis 16,
  - bei dem der Meßaufnehmer (10) ferner einen mit der Meßgerät-Elektronik (50) elektrisch verbundenen, auf das Meßrohr (13) mechanisch einwirkenden, insb. elektro-dynamischen oder elektro-magnetischen, Schwingungserreger (16) zum Antreiben des Meßrohrs (13) umfaßt, und
  - bei dem die Meßgerät-Elektronik (50), wenigstens ein dem Steuern des Schwingungserregers (16) dienendes Erregersignal ( $i_{exc}$ ) liefert, so daß das Meßrohr (13) im Betrieb zumindest zeitweise vibrieren gelassen wird.
18. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 17,
  - bei dem das erste Sensorelement (17) auf, insb. einlaßseitige oder auslaßseitige, Vibrationen des Maßrohrs (13) reagiert und
  - bei dem das vom ersten Sensorelement (17) gelieferte Meßsignal ( $s_1$ ) vom Prozeß-Medium beeinflusste mechanische Schwingungen des vibrierenden Maßrohrs (13) repräsentiert.
19. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 17 oder 18, bei dem der Meßaufnehmer (10) ein, insb. schwingfähig im Meßaufnehmer-Gehäuse (100) aufgehängtes, am Meßrohr (13) fixiertes Trägerelement (14) zum Haltern des Schwingungserregers (16) und wenigstens des ersten Sensorelements (17) umfaßt.
20. Prozeß-Meßgerät nach Anspruch 19, bei dem wenigstens Temperatursensor (40) auf dem Trägerelement (14) fixiert oder zumindest in dessen Nähe angeordnet ist.

21. Prozeß-Meßgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 20,
- bei dem die Sensoranordnung (**60**), wenigstens ein zweites primär auf die physikalische Prozeßgröße reagierendes Sensorelement (**18**) aufweist und mittels des zweiten Sensorelements (**18**) wenigstens ein von der physikalischen Prozeßgröße beeinflusstes zweites Meßsignal ( $s_2$ ) liefert und
  - bei dem die Meßgerät-Elektronik den Meßwert auch unter Verwendung des zweiten Meßsignals erzeugt.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen



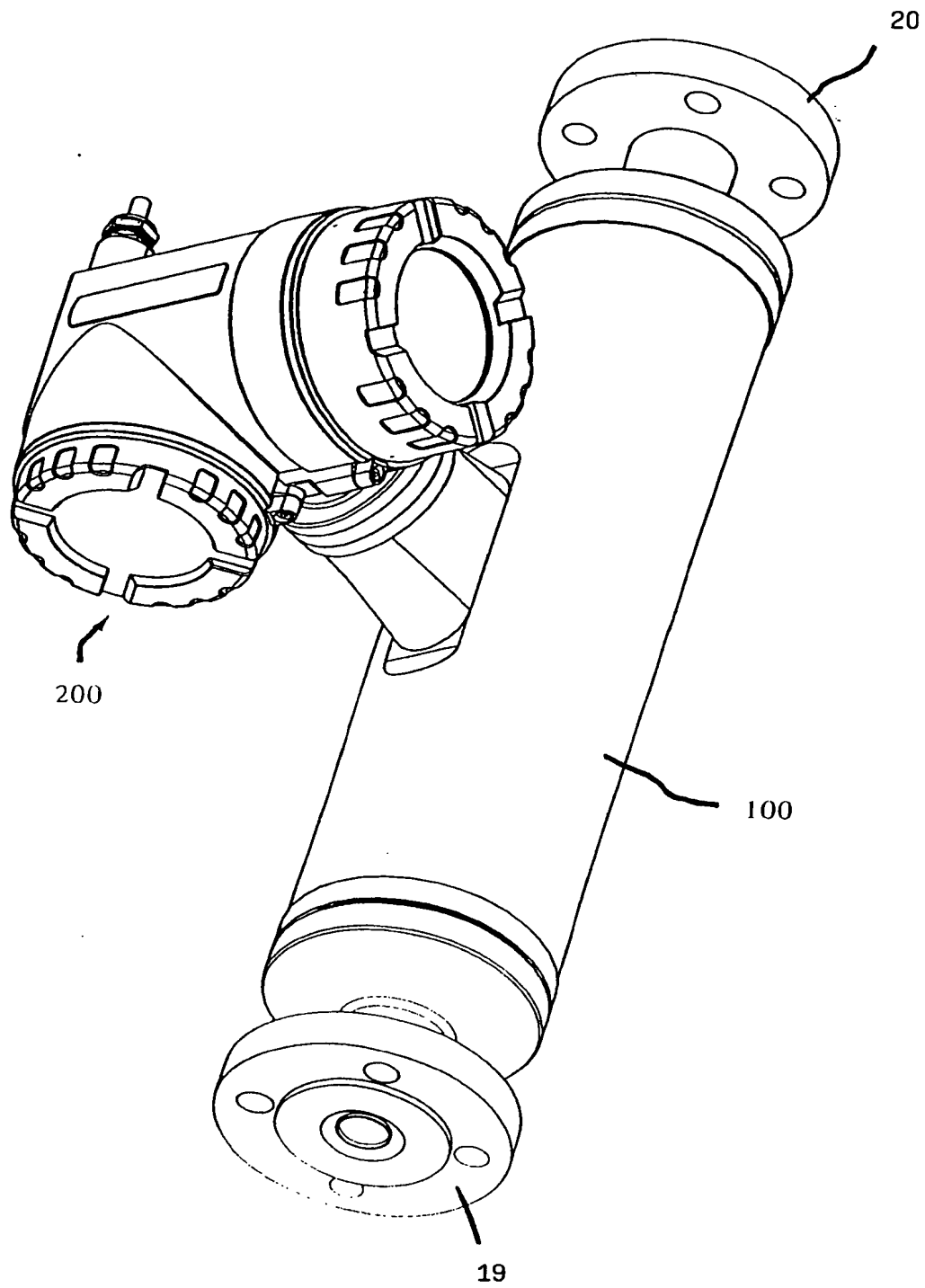


Fig. 1

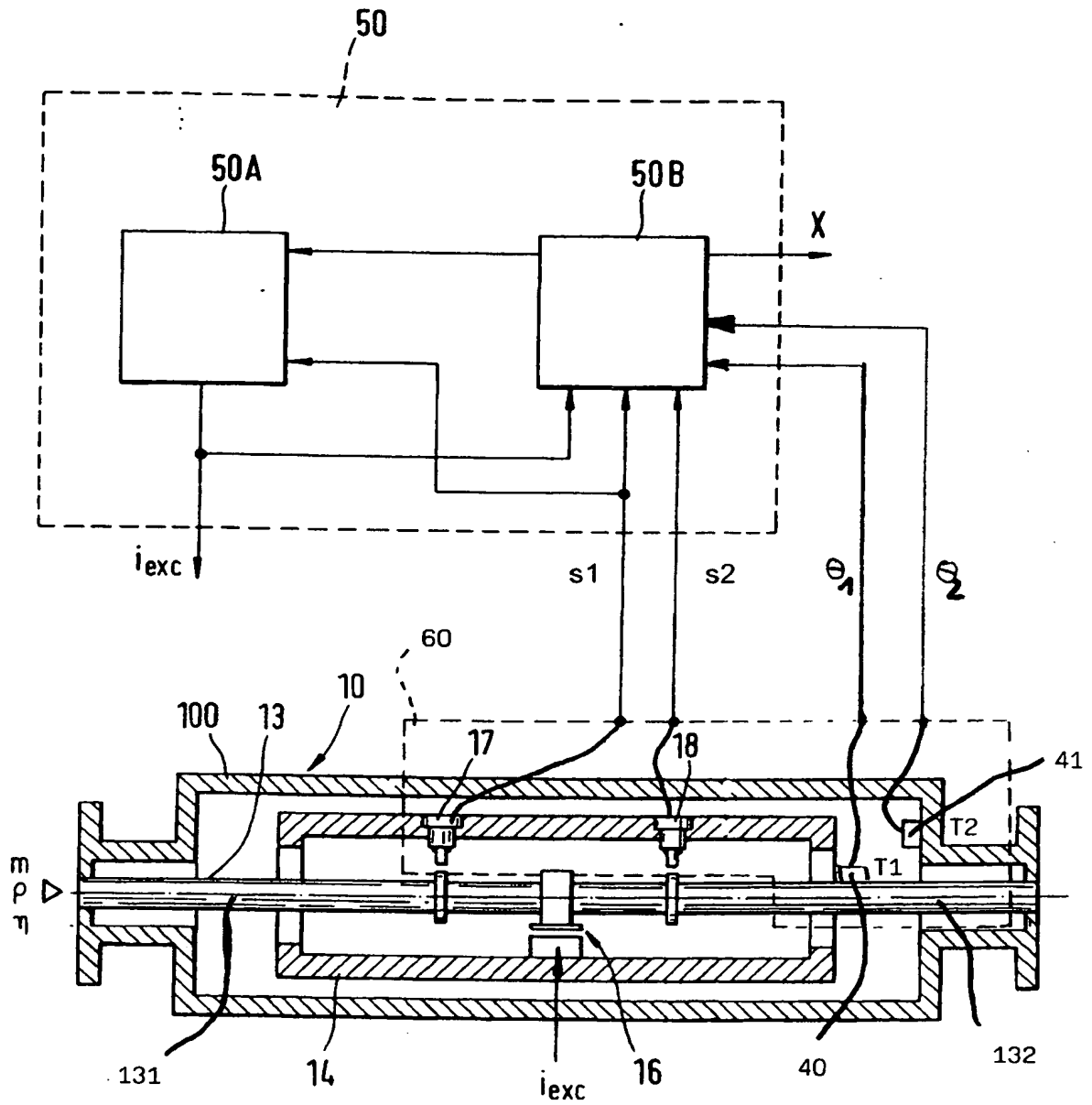


Fig. 2



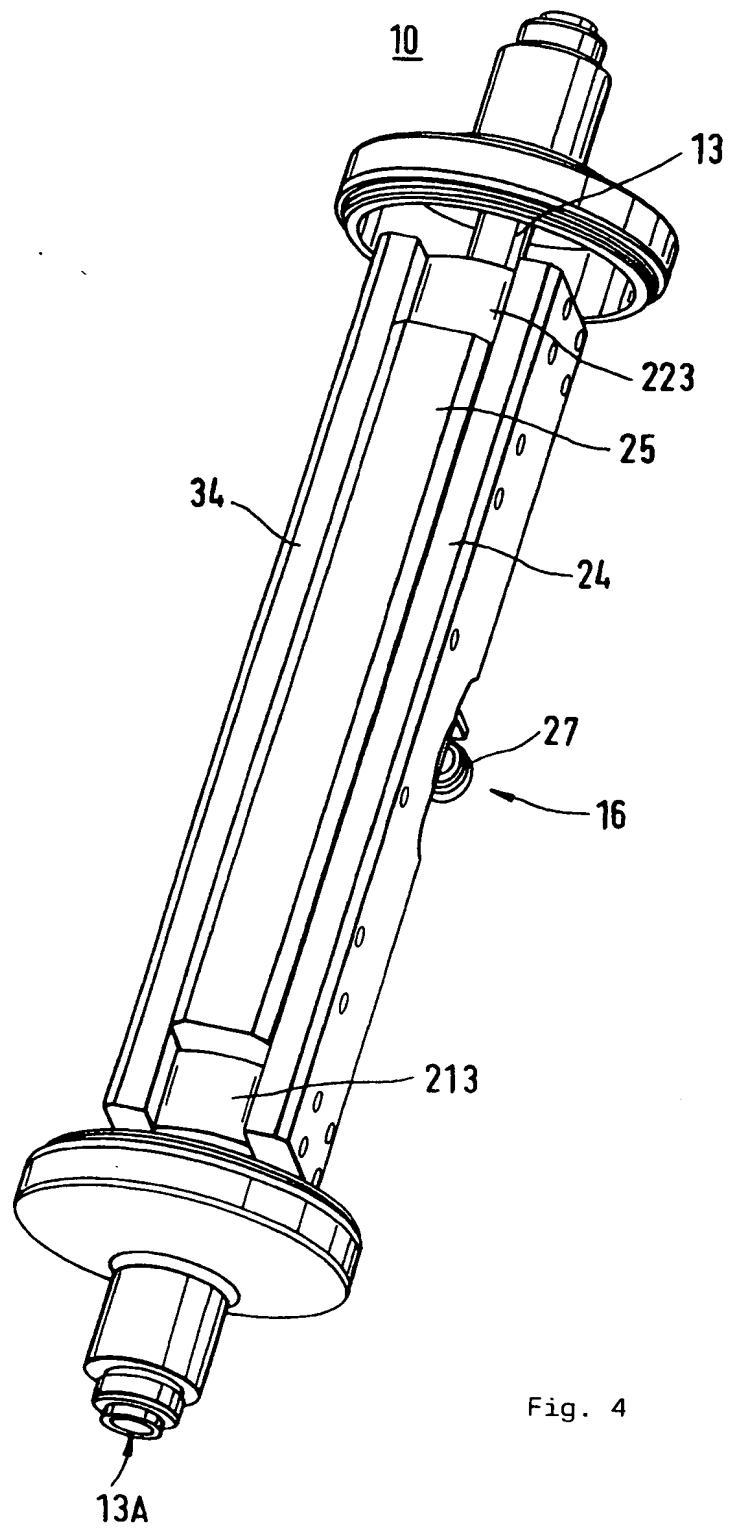


Fig. 4

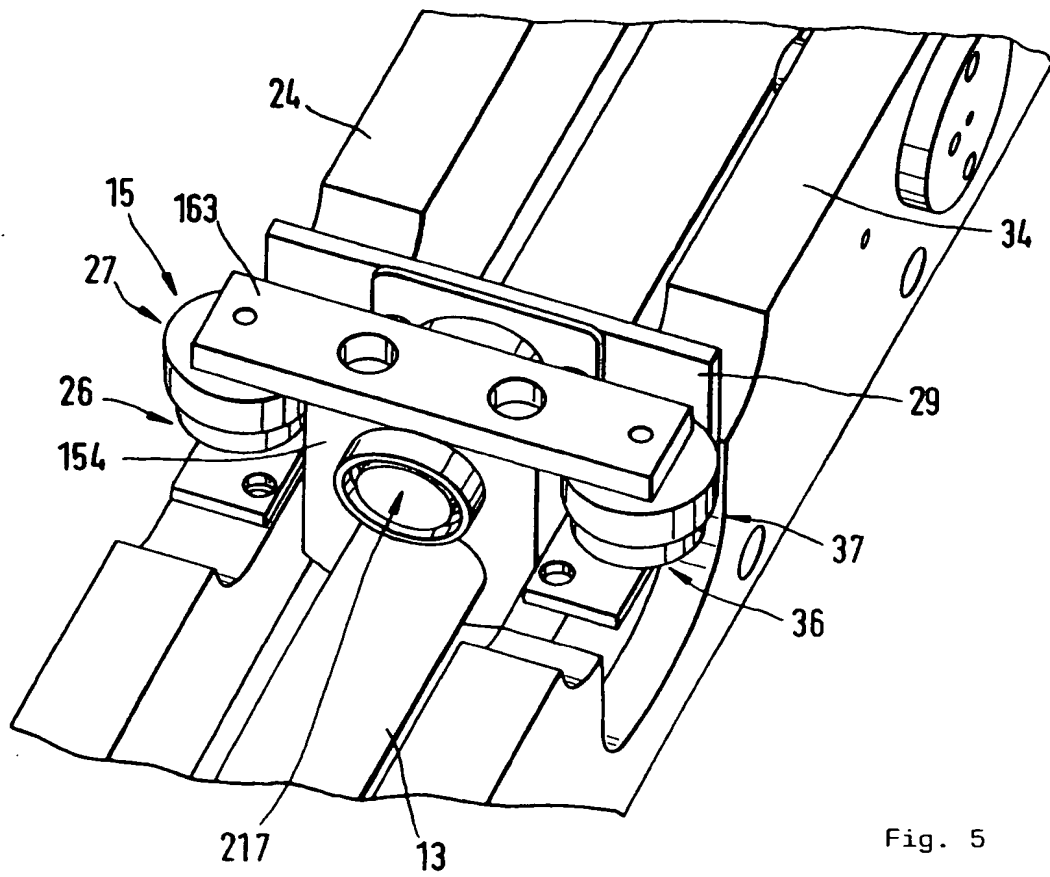


Fig. 5

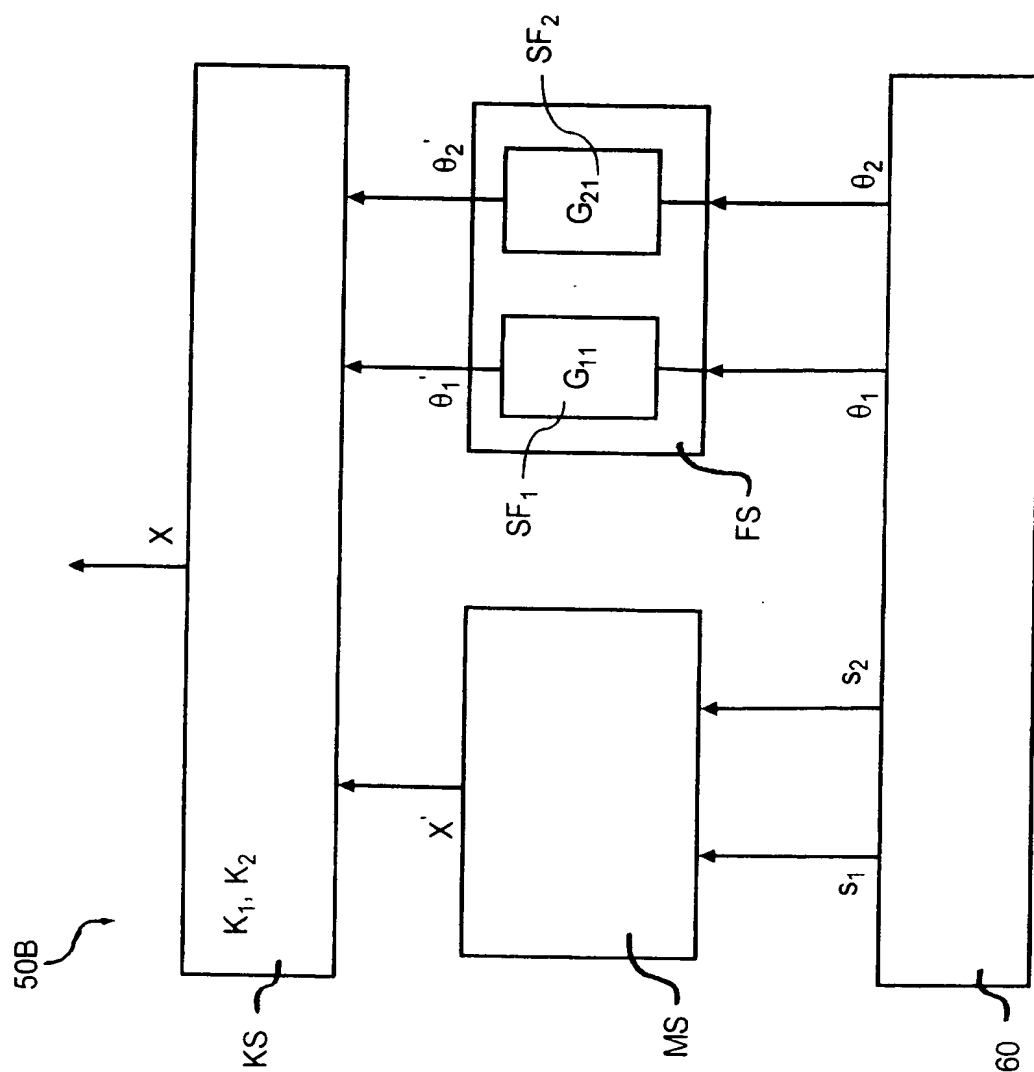


Fig. 6

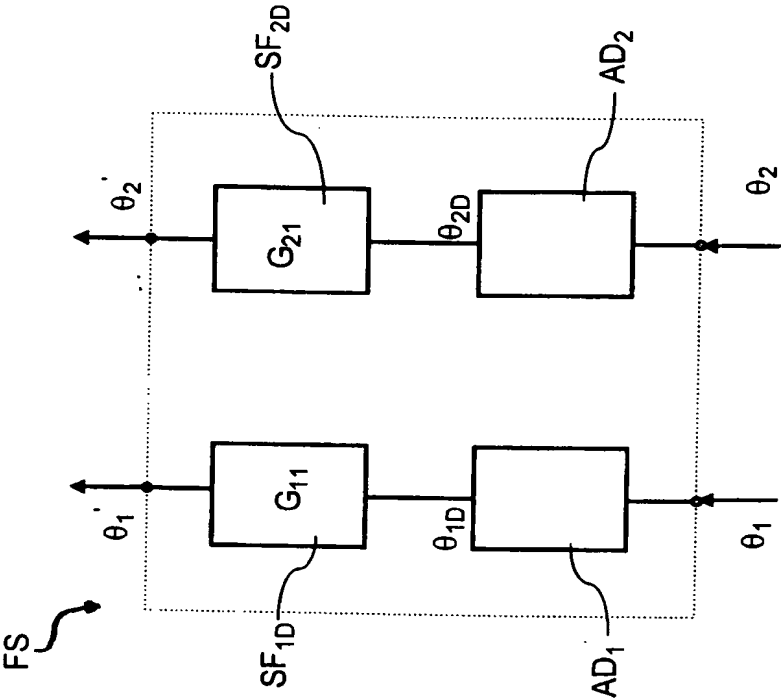


Fig. 8

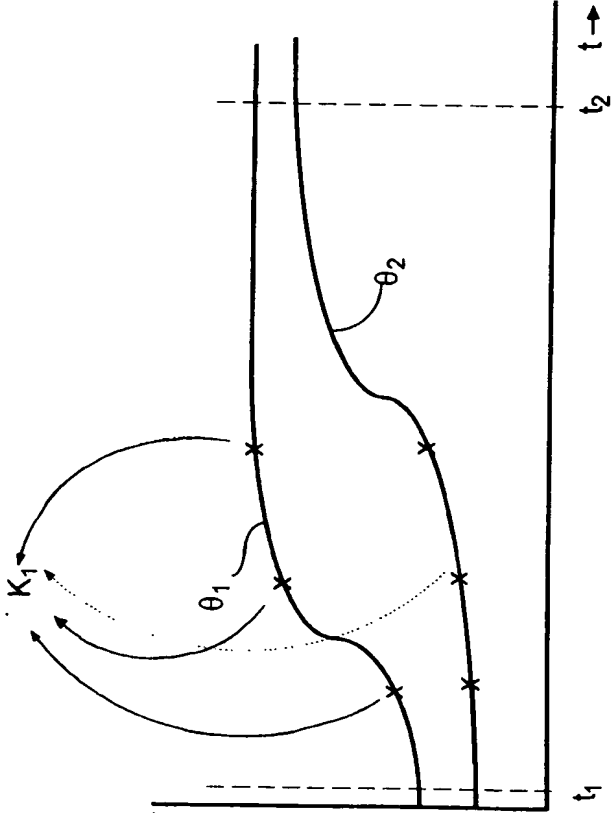


Fig. 7